

DOMÍNIO “ESPAÇO” E OBSERVAÇÃO DA TERRA, COMPETÊNCIAS E ESTUDOS DE CASO

SPACE DOMAIN AND EARTH OBSERVATION, SKILLS, AND APPLICATION EXAMPLES

Carlos Jorge Ramos Páscoa

Coronel Navegador da Força Aérea Portuguesa
Doutor em Engenharia Informática e de Computadores pelo Instituto Superior Técnico
Universidade de Lisboa
Assessor do Chefe do Estado-Maior da Força Aérea
2610-075 Amadora
cjpascoa@gmail.com

Resumo

A crescente consciencialização e preocupação com o Espaço, bem como os compromissos e obrigações legais assumidos por Portugal, e consequentemente pela Força Aérea, concorrem simultaneamente para a necessidade premente de implementação do domínio Espaço nas operações aéreas. Considerando a ligação dos serviços e produtos do Espaço com as informações e as operações, esta investigação tem como objetivo identificar o potencial da observação da Terra a partir do Espaço (e as competências espaciais necessárias), através de sensores instalados em satélites, para acrescentar eficiência e eficácia às atividades desenvolvidas pela Força Aérea. Para alcançar esse objetivo, foi desenvolvida uma investigação assente na metodologia de Estudos de Caso na pesquisa e no desenho de seis estudos de caso com recurso a informação proveniente dos satélites, em que foi possível observar que a adoção destes produtos pode acrescentar informação essencial ao ciclo de planeamento das missões dos meios aéreos, proporcionando melhor consciência situacional, e contribuir para a identificação das competências organizacionais necessárias associadas ao Espaço. Concluiu-se que existe potencial para aumentar a capacidade de integração de produtos espaciais nas operações aéreas e obter maiores benefícios no apoio à decisão.

Palavras-chave: Força Aérea; Operações no Espaço; Operações Aéreas; Informações Espaciais; Competências Espaciais.

Abstract

The growing awareness and concern with Space, as well as the commitments and legal obligations assumed by Portugal, and consequently by the Air Force, simultaneously contribute to the urgent need to implement the Space domain in air operations. Considering the connection of Space services and products with information and operations, this research aims to identify the potential of Earth observation from Space (and the necessary

Como citar este artigo: Páscoa, C. J. R., (2024). Domínio “Espaço” e Observação da Terra, Competências e Estudos de Caso. *Revista de Ciências Militares*, maio, XII(1), 257-294. Retirado de <https://www.ium.pt/publist/1>

space skills), through sensors installed on satellites, to add efficiency and effectiveness to the activities developed by the Air Force. To achieve this goal, a research based on Case Studies Research methodology was developed in the study and design of six case studies using information from satellites, in which it was possible to observe that the adoption of these products can add essential information to the planning cycle of air assets missions, providing better situational awareness, and contribute to the identification of the necessary organizational competencies associated with the Space. It was concluded that there is potential to increase the integration capacity of space products and obtain greater benefits in air operations decision support.

Keywords: Air Force; Space Operations; Air Operations; Spatial Intelligence; Spatial Skills.

1. Introdução

Entre 1957 e 2023, foram colocados no Espaço 34.595 objetos (*Our World in Data*, 2024). Em 2020, 451 satélites estavam declarados como governamentais podendo ter funções militares ou civis (Skinner, 2020). 31 anos após o lançamento do seu primeiro satélite, o PoSAT-1 (Agência Espacial Portuguesa [*PT-Space*], 2023), Portugal lançou o satélite *Aeros* que descolou a bordo do foguetão da SpaceX e que será uma das fontes para acrescentar conhecimento na vigilância dos oceanos (Público, 2024).

Com a proliferação de satélites, tornou-se essencial ter conhecimento situacional do Espaço, não só para poder prever possíveis rotas de colisão, mas também para conhecer a posição de objetos inativos (*debris*) que potencialmente possam interferir com a navegação dos satélites (Gregersen, 2024).

A Organização do Tratado Atlântico Norte (OTAN), em 2019, reconheceu o Espaço como um domínio militar (OTAN, 2023) e a União Europeia (UE) desenvolveu a Agência Europeia para o Espaço¹ (ESA) criando, neste âmbito, o Quadro de Apoio à Vigilância e Rastreo Espaciais (QAVRE) materializado através do consórcio constituído por diversos países, de entre os quais Portugal, o qual compõe uma rede de sensores destinados a proporcionar consciência situacional espacial e vigilância e seguimento de satélites² (SSA/SST) aos países da Aliança (*European Commission* [EC], 2020).

O objetivo dos satélites divide-se em cinco grandes áreas: i) posicionamento, navegação e referência temporal³ (PNT); ii) Comunicações por Satélite⁴ (SATCOM) para comando, controlo, dados e monitorização e coordenação das atividades no Espaço; iii) SSA/SST; iv) Informações, Vigilância e Reconhecimento⁵ (ISR); e v) Monitorização ambiental (adaptado de OTAN, 2022, 2023).

¹ Em inglês, *European Space Agency* (ESA).

² Em inglês, *Space Surveillance and Awareness* (SSA) e *Space Surveillance and Tracking* (SST).

³ Em inglês, *Positioning, Navigation and Timing* (PNT).

⁴ Em inglês, *Satellite Communications* (SATCOM).

⁵ Em inglês, *Intelligence, Surveillance and Reconnaissance* (ISR).

Desde o final da década de 40 do século passado, os Estados- Unidos da América (EUA) tornaram-se numa potência espacial através da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) que desenvolve um conjunto importante de atividades de várias áreas, no Espaço.

Portugal percorreu o seu caminho, definindo os documentos de estratégia necessários para garantir o desenvolvimento e o lançamento dos sistemas nacionais adequados à consecução dos objetivos definidos. Neste âmbito, a Resolução do Conselho de Ministros (RCM) n.º 30/2018 aprovou a Estratégia Nacional do Espaço 2030 (ENE2030) (RCM, 2018) e a RCM n.º 55/2019, aprovou a criação da *PT-Space* (RCM, 2019a).

No plano da Defesa Nacional foi desenvolvida a Estratégia da Defesa Nacional para o Espaço (EDNE2030) (Ministério da Defesa Nacional [MDN], 2020) com objetivos situados nas quatro áreas mencionadas e, nas Forças Armadas, o Estado-Maior-General das Forças Armadas (EMGFA) instalou o Centro de Comunicações e Informação, Ciberespaço e Espaço (EMGFA, 2024). A Força Aérea desenvolveu a política para o Espaço (Força Aérea, 2023) e encontra-se em processo de edificação da capacidade com a instalação e desenvolvimento do Centro de Operações Espaciais (COE) tendo, nesta altura, selecionado o pessoal que está em preparação.

Enquanto as áreas PNT e SATCOM são extremamente relevantes para os países para assegurarem a sua independência na utilização dos seus recursos, a área SSA/SST é, igualmente, da maior importância para a obtenção de consciência situacional sobre a disposição e o movimento dos satélites no Espaço. A ISR (designadamente a observação da Terra para fins situacionais e científicos), em que, para efeitos deste artigo, se inclui a observação meteorológica, assume particular relevância no quadro de acontecimentos importantes que estão a afetar o globo, como por exemplo as alterações climáticas e as medidas decorrentes do Acordo de Paris (Decisão (UE) n.º 2016/1841, 2016), adotado em dezembro de 2015, e do Pacto Ecológico Europeu (EC, 2019, p. 27) e, em Portugal, com o Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050⁶ (RCM, 2019b) e o Plano Nacional Energia e Clima 2030⁷ (RCM; 2020).

Do exposto, pode concluir-se que a observação por satélite é primordial para se conseguir aferir a evolução das estratégias e a obtenção dos objetivos nelas definidos. A integração dos serviços e produtos do Espaço nas informações e nas operações é, assim, muito importante, dado que representa a possibilidade de inserir no processo de assegurar superioridade aérea, dados e informação abrangentes com utilização multidomínio.

A investigação enquadra-se no domínio das ciências militares na área de operações militares nas subáreas de apoio à decisão e estudo do emprego do poder aeroespacial.

1.1. Identificação do Problema

A edificação da capacidade Espaço, em curso, é um processo complexo que pressupõe a integração dos serviços e produtos proporcionados por aquele domínio no executável operacional da Força Aérea, ou seja, nos elementos que materializam o poder aéreo.

⁶ RCM n.º 107/2019, de 01 de julho.

⁷ RCM n.º 53/2020, de 10 de julho.

As áreas do Espaço PNT e SATCOM destinam-se a assegurar precisão de tempo e navegação e comunicações e a área SSA/SST conhecimento situacional do Espaço e dos objetos que nele navegam. Não se minimizando a importância das três áreas para as operações entende-se, no entanto, que a área ISR é aquela que deve ser integrada com as operações, não só porque possibilita conhecimento adicional sobre a Terra em si, como também por oferecer contributos decisivos para a melhoria da decisão.

Pelo que não se trata, apenas, de instalar artefactos e preparar as pessoas para fazer a ligação aos centros europeus e às empresas que tratam o Espaço.

A pergunta “como será adicionado valor às operações, nas diversas fases (planeamento, execução, análise, por exemplo), proporcionando a integração do Espaço com a ISR e com as Operações e quais as competências necessárias?” necessita de uma resposta multifacetada e multidomínio, assente na identificação do que é essencial para apoiar a decisão.

O problema reside, assim, em que não se conhece cabalmente como aproveitar os serviços e produtos espaciais de ISR nos serviços e produtos que atualmente integram a operação dos meios aéreos existindo pouca informação sobre as competências necessárias para a sua materialização.

1.2. Objetivo e Questão de Investigação

Neste âmbito, o objetivo desta investigação (OI) é contribuir para a otimização da integração dos serviços e produtos espaciais de ISR no executável operacional que materializa o poder aéreo, destacando o papel fundamental da observação da Terra para acrescentar valor ao ciclo de operações aéreas, proporcionando o levantamento inicial das competências necessárias para edificar a capacidade Espaço.

A questão de investigação (QI) “Qual o contributo dos produtos e serviços espaciais de ISR para as informações e para operações aéreas e quais as competências necessárias?” caracterizada pelos Requisitos (R) seguintes:

- R.1 Identificar as áreas do ciclo de operações e os serviços e produtos de ISR do Espaço que podem contribuir para acrescentar valor e melhorar a decisão;
- R.2 Identificar as áreas e os conceitos aplicáveis;
- R.3 Identificar as posições organizacionais (PO) (Páscoa et al., 2011)⁸ relacionadas com as atividades no Espaço e descrever as suas funções.

1.3. Metodologia

O estudo de caso (EC) explora um caso, ou vários casos prático(s) envolvendo várias fontes (Creswell, 2014), permitindo analisar os dados dentro de cada situação e entre situações (Yin, 2018), alargando o âmbito da pesquisa (Eisenhardt & Graebner, 2007).

⁸ Posições ocupadas por pessoas com funções específicas.

Nesta investigação, estudo de casos é utilizado para identificar soluções para melhorar a ligação entre os produtos derivados da observação da Terra e o executável que relaciona as operações espaciais com a fusão de informação, as operações aéreas e as funções das PO.

Assim, no âmbito dos requisitos R.1 e R.2, foram pesquisadas diversas fontes que utilizam Sistemas de Informação Geográficos⁹ (GIS) e algoritmos de processamento de imagens de satélite em organizações como a ESA, a NASA, a Organização das Nações Unidas e a Google. Da pesquisa resultante, individualizaram-se os EC relacionados com a criação de modelos digitais (EC 1) e sua utilização para a análise de risco (EC 2), planeamento de missão e simulação (EC 3), deteção de alvos (EC 4), análise de catástrofes na perspectiva dos incêndios rurais (EC 5) e das inundações (EC 6).

No âmbito do requisito R.3, foi pesquisada informação sobre a descrição de posições organizacionais e respetivas funções recorrendo a sítios específicos das forças armadas de países da OTAN, sendo utilizada como base de partida, por ter maior detalhe, a informação específica proveniente da força espacial dos EUA.

A análise é, na generalidade dos EC, feita por programas informáticos que recolhem e processam os dados provenientes dos satélites, gerando *outputs* gráficos úteis. Estes são apresentados em camadas que podem ser ampliadas. Por exemplo, no caso das inundações, o software processa mais de 20 operações sobre a área selecionada e, em cada uma, classifica pixel a pixel o retorno de sinal analisando 28484x21519 pixels com a resolução de 10x10m cada, retornando uma imagem gráfica que disponibiliza informação que pode ser utilizada para apoiar as operações.

A investigação compreende quatro etapas:

- A primeira etapa compreende a identificação do problema, QI, OI, metodologia e forma de avaliar e rever a literatura sendo, também, desenvolvido o plano de ação;
- A segunda etapa compreende a recolha de informação sobre competências espaciais e modelos digitais e de algoritmos que os processam e como os integrar incluindo, a formulação dos EC;
- A terceira etapa envolve análise e adaptação dos modelos, retirando-se conclusões;
- A quarta etapa consiste em refletir, avaliar, tirar conclusões e comunicar os resultados da investigação, respondendo ao OI e à QI, indicando se o problema foi resolvido, o conhecimento científico acrescentado e as ações futuras.

A avaliação será feita sobre a validação dos produtos e serviços identificados e utilizados e demonstrados em EC, e de como estes contribuem para a validação dos requisitos identificados.

1.4. Contributos científicos esperados

Os contributos científicos esperados incluem: clarificar como pode ocorrer a integração de serviços e produtos do Espaço nos ciclos de análise de informações e de operações aéreas

⁹ Em inglês, Geographic Information Systems (GIS).

desenvolvidas pela Força Aérea e identificar as posições e as funções necessárias para a edificação da capacidade “Espaço”.

1.5. Âmbito e limitações

A Força Aérea constitui-se como a organização que acolheu a investigação, realizada em 2023. Existe informação específica que não será divulgada neste documento.

1.6. Estrutura

Este documento está dividido em quatro capítulos. No primeiro capítulo descreve-se o contexto e o problema de investigação e a sua relevância, identificando-se, igualmente, o objetivo, a questão de investigação, a metodologia, o processo de avaliação e, finalmente, o âmbito e as limitações.

O segundo capítulo apresenta a revisão da literatura que considera contributos da academia, de regulação e de experiência.

O terceiro capítulo descreve as áreas principais do Espaço, os serviços e produtos de cada uma e exemplos de produtos e serviços que podem acrescentar valor ao ciclo de operações. Apresenta, ainda, a análise conducente à resposta ao objetivo e questão de investigação.

O quarto capítulo 4 conclui, respondendo ao objetivo e questão de investigação, validando os contributos científicos esperados e propondo estudos futuros.

2. Revisão da Literatura

O fórum económico global (*World Economic Forum*, 2024, p. 8) conduziu um levantamento dos riscos globais. A perceção dos riscos globais compreende:

- A dois anos, por ordem de importância (quatro mais importantes): má informação e desinformação, eventos climáticos extremos e polarização social e insegurança ciber;
- A dez anos: eventos climáticos extremos, alterações críticas aos sistemas do planeta Terra, perda da biodiversidade e colapso dos ecossistemas e faltas de recursos naturais.

O Espaço e a observação da Terra¹⁰ (EO) para monitorizar e acompanhar a evolução dos fenómenos climáticos representam um esforço substancial no combate às alterações climáticas (*National Aeronautics and Space Administration [NASA]*, 2024a; *ESA Copernicus*, 2024a). O Espaço tem, assim, vindo a tornar-se na ferramenta essencial para observar a Terra e os seus fenómenos, a par da sua utilização como plataforma PNT e SATCOM.

Este capítulo apresenta a estratégia para o Espaço da UE, da OTAN e de Portugal, o valor do Espaço como plataforma global para várias utilizações, a utilização do Espaço por organizações militares e finalmente, aborda algumas questões relacionadas com os aspetos organizacionais de utilização de serviços e produtos aeroespaciais.

¹⁰ Em inglês, Earth Observation (EO).

2.1. Estratégia para o Espaço

O Conselho da União Europeia (CUE) desenvolveu a Estratégia do Espaço para a Europa (CUE, 2016) e, no âmbito da Bússola Estratégica¹¹ (CUE, 2022a, 2022b), a Europa desenvolveu o Programa para o Espaço que, atualmente tem várias componentes (EU *Agency for the Space Programme*, 2024):

- *Copernicus*, dedicado à EO; que inclui o estudo de: Atmosfera, Mar, Terra, Alterações Climáticas, Segurança e Emergências;

- *Europe's Global Navigation Satellite System* (GNSS), de nome GALILEO e *European Geostationary Navigation Overlay Service* (EGNOS), dedicados ao PNT, incluindo, no último caso, a busca e salvamento;

- *Governmental Satellite Communications e Infrastructure for Resilience, Interconnectivity and Security by Satellite* (IRIS²), dedicado às comunicações utilizadas, por exemplo, em situações de crise, vigilância de fronteiras e gestão de infraestruturas críticas e comunicações diplomáticas;

- *Space Situational Awareness* (SSA), no plano do SSA/SST, que inclui a vigilância de objetos no Espaço.

A OTAN, reconhece o Espaço como um domínio militar tendo consolidado, em 2016, a doutrina conjunta para as operações aéreas e as operações no Espaço (OTAN, 2016), considerando a incorporação dos serviços e das tecnologias espaciais como contributos para maximizar a eficiência das operações militares.

Em Portugal, a ENE2030 declara o “*Espaço como um recurso fundamental para as ambições coletivas de Portugal*” em torno de três eixos estratégicos que incluem: i) “*Estimular a exploração de dados e sinais espaciais (...)*”; ii) “*Fomentar o desenvolvimento, construção e operação de equipamentos, sistemas e infraestruturas espaciais e de serviços de produção de dados espaciais (...)*”; iii) “*Continuar a desenvolver a capacidade e competências nacionais na área do Espaço (...)*” (RCM, 2018, p. 1258).

A *PT-Space* foi criada (RCM, 2019a) para materializar a ENE2030 e, em 2020, foi aprovada a EDNE2030 (MDN, 2020) que considera, no seu plano de ação, o desenvolvimento das capacidades iniciais/ampliação onde estão incluídos: PNT; ISR, para observação e monitorização de atividades na superfície; SATCOM para comando, controlo e dados; e SSA/SST.

Em consonância com as capacidades/eixos definidos pela Defesa Nacional, a Força Aérea desenvolveu o Conceito Espaço (Força Aérea, 2023) no qual define os elementos essenciais para a edificação da capacidade e inserção no executável operacional.

2.2. O valor do Espaço

Desde a década de sessenta do século passado que a comunidade das Nações tem como objetivo conceber um quadro regulamentar pormenorizado e acordado entre as Nações

¹¹ A Bússola Estratégica apresenta uma avaliação comum do ambiente estratégico em que a UE opera e das ameaças e desafios com que se depara. As medidas componentes preveem na componente “Agir”, por exemplo, a criação de capacidade de projeção rápida da UE de até 5.000 militares (CE, 2022).

para a atividade no espaço exterior (regido por tratados das Nações Unidas [UN]) definido e consagrado na lei (UN, 1966; de Zwart, 2020; *European Space Policy Institute* [ESPI], 2017).

Contudo, a defesa, segurança e proteção dos territórios e dos seus cidadãos compreende todas as atividades no Espaço, ou possibilitadas pelo Espaço, que estão focadas na proteção de pessoas, interesses e valores, prevenindo, dissuadindo e, quando necessário, derrotando ataques de atores hostis e gerindo ameaças (Grest, 2020), riscos e perigos de natureza diversa (*Defense Intelligence Agency*, 2022) que possam colocar em risco a integridade do território, os valores e a cultura da Nação.

As instituições militares e as agências de defesa têm desempenhado um papel central na promoção do desenvolvimento do setor espacial, impulsionando o investimento e a inovação em sistemas que proporcionam avanços tecnológicos significativos às capacidades militares, bem como muitas das tecnologias subjacentes que asseguram vantagens estratégicas, operacionais e táticas oferecidas pelo controlo e utilização do espaço como o “derradeiro terreno elevado” que permitem as formas modernas da guerra digital e centrada em rede (Black et al., 2022a; Black et al., 2022b).

O reconhecimento do Espaço como domínio operacional tem, como consequência, uma corrida à tecnologia que apoia o aparecimento e evolução de uma gama crescente de sistemas críticos que afetarão não apenas as capacidades militares, mas também as capacidades civis (Banks, 2019), por exemplo:

- Gestão e remoção de detritos, incluindo técnicas para reparar, reabastecer, mover ou desorbitar objetos espaciais com segurança, para reduzir o risco crescente de colisões (Wang et al., 2022);
- Construção industrial (Demopoulos, 2023; *Factories in Space*, 2024a, 2024b; Kulu, 2021; NASA, 2022);
- Armazenamento seguro a longo prazo de dados e artigos de elevado valor, por exemplo, para resguardar conhecimento para as gerações futuras (Greenblatt & Anzaldúa, 2019);
- Monitorização e apoio à resiliência das infraestruturas críticas através da utilização de dados EO e PNT combinados com novos sensores e tecnologias, por exemplo, Internet das Coisas (IoT) e Sistemas Aéreos Não Tripulados¹² (UAS) (Jung et al., 2023);
- Utilização de novas tecnologias como por exemplo: manufatura aditiva (*3D printing*), e algoritmos Quantum para melhorar a EO (NASA, 2023, p. 6-7; Rainjonneau et al., 2023);
- Aumento progressivo da utilização de serviços EO, SATCOM e PNT para apoio: aos serviços de emergência na prevenção de inundações e incêndios rurais (IR) (por exemplo); às comunicações em zonas remotas; à utilização de dispositivos de Internet das Coisas (IoT)¹³, e sistemas robóticos e autónomos (UN, s.d.; ESA, 2017a, 2017b).

¹² Em inglês, *Unmanned Aerial Systems* (UAS).

¹³ Em inglês, *Internet of Things* (IoT).

2.3. Utilização do Espaço por organizações militares

A utilização do Espaço por organizações militares foca-se, por exemplo, em atividades de Investigação, Desenvolvimento e Inovação (ID&I) e na inserção de sensores espaciais nas capacidades militares.

Em 2020, do número de satélites declarados militares, por função eram: 135 de comunicações (29%), 110 de navegação 110 (23%), 67 para desenvolvimento de tecnologia (14%), 35 para informações de sinais (7%), 85 de imagem ótica e radar e EO (18%), 39 de outros tipos (9%) (Skinner, 2020).

Dado o número atual de satélites ativos (cerca de 10.000 [Celestrak, 2024]) torna-se essencial conhecer o seu posicionamento para evitar colisões, não apenas entre eles, mas também com detritos espaciais. A inovação e o avanço tecnológico decorrente permitirá, a curto e médio prazo, avanços significativos na:

- Melhoria das capacidades de radares, sensores óticos terrestres e espaciais e no processamento dos dados com o objetivo melhorar a consciência situacional na deteção e alerta precoce de objetos próximos da Terra (Lal et al., 2018);

- Alerta precoce para facilitar a defesa antimíssil, incluindo a deteção espacial de lançamentos e trajetórias de mísseis e a sua interceção, utilizando intercetores espaciais (Roberts, 2022);

- Cibersegurança baseada no espaço (Bailey, 2020) e armas espaciais avançadas (Harrison, 2020, p. 6);

- Capacidade de ataque global imediato convencional através do emprego de armas hipersónicas (Woolf, 2021);

- Apoio à modelação, simulação e análise de ameaças através da localização de objetos com alta precisão permitindo a análise em tempo real através da criação de modelos virtuais de realidade aumentada (Catapult, 2017; Utilities One, 2023);

- Busca e salvamento através da utilização de novas tecnologias que permitem a localização e rapidez de resposta (Baird, 2019);

- Melhoria do comando e controlo, das comunicações, dos computadores, dos serviços de informações, da vigilância, da aquisição de alvos e do reconhecimento (C41STAR¹⁴) das forças militares facilitando a integração multidomínio e as operações conjuntas e combinadas (Wald, 2014).

2.4. Desenvolvimento da Capacidade

A utilização da metodologia Doutrina, Organização, Treino/Formação, Material, Liderança, Pessoal, Facilidades/Infraestruturas e Interoperabilidade (DOTMLPFI)¹⁵ (OTAN, 2021) é comumente adotada no meio militar (United States Air Force, 2021) e foi a seguida

¹⁴ Em inglês, *Command, Control, Communications, Computers, Intelligence, Surveillance, Target Acquisition, and Reconnaissance*.

¹⁵ Em inglês *Doctrine, Organization, Training, Materiel, Leadership, Personnel, Facilities and Interoperability*.

pela Força Aérea (Força Aérea, 2023) para os projetos tendentes à edificação da capacidade Espaço.

Os custos de edificação da capacidade Espaço são elevados pelo que a Força Aérea, no quadro das estratégias existentes, ENE2030 (2018), EDNE2030 (2020) e da sua própria estratégia (Força Aérea, 2023) desenvolve os mecanismos necessários para a sua integração em parcerias como são exemplo as estabelecidas com o CEiiA¹⁶ e a GEOSAT no âmbito do projeto de implementação da constelação atlântica (Força Aérea, 2024). Salienta-se que estas entidades estão incluídas no catálogo espacial (PT-Space, 2024a) e que contribuem ativamente no desenvolvimento e exploração de satélites (PT-Space, 2024b).

No plano da **Doutrina**, a Força Espacial dos EUA (USSF)¹⁷ publicou a respetiva doutrina (USSF, 2024a) que é, no nível estratégico, composta pela publicação principal (*Space Capstone Publication*) (USSF, 2020) que encapsula as publicações de doutrina do pessoal (SDP 1-0) (USSF, 2022), de informações (SDP 2-0), de operações (SDP 3-0), de sustentação (SDP 4-0), de planeamento (SDP 5-0) e de operações conjuntas (SDP 3-99).

A OTAN possui doutrina militar relativa ao Espaço em operações aéreas (OTAN, 2016) sendo necessário estabelecer as ligações necessárias para a articulação entre três atores essenciais para o processo de planeamento e condução de operações aéreas militares.

Na prática, a doutrina aeroespacial deverá estabelecer a relação entre o COE, o centro de ISR e o centro de operações aéreas identificando o que deve ser partilhado e como deve ser trabalhado para acrescentar eficácia e eficiência às operações aéreas.

Esta relação deve considerar a ameaça, o contexto de operação, as capacidades militares e a necessidade de produtos e serviços partilhados (tendo, igualmente, em consideração o enquadramento legal) que possam levar aos requisitos para a edificação da capacidade Espaço e a sua plena integração nas operações (Chapeaux, 2022; Grest, 2022).

A Força Aérea tem, assim, o desafio e a responsabilidade de desenvolver doutrina que insira o Espaço na sua cultura e clarifique univocamente o benefício dos produtos espaciais e a sua integração no poder aéreo, designadamente nas capacidades militares existentes (por exemplo, Luta Aérea, Transporte Aéreo, ISR, Busca e Salvamento, etc.), bem como a ligação com a cibersegurança, com as operações multidomínio e, no plano organizacional, com as diferentes áreas da sustentabilidade, designadamente com os aspetos relacionados com as alterações climáticas, em particular com o roteiro para a neutralidade carbónica da Força Aérea 2050 (Força Aérea, 2022; Pinto & Páscoa, 2023) e com as diversas iniciativas que estão a ocorrer neste domínio (Calaixo et al., 2022; Correia et al., 2022).

No plano da **Organização**, o desenho organizacional da força espacial (Força Aérea, 2023), considera um conjunto de orientações e de princípios cujo objetivo é dar coerência à edificação da capacidade e garantir a sua sustentabilidade, criando o máximo de sinergias com a capacidade instalada a operação, a logística e o pessoal que incluirá a preparação e o treino inicial prevendo as funções operacionais, logística, formação, qualificação e treino e ID&I.

¹⁶ Centro de Engenharia e Desenvolvimento de Produtos (CEiiA).

¹⁷ Em inglês, *United States Space Force* (USSF).

A integração eficaz pressupõe **Formação, Treino e Qualificação** do pessoal a quem são atribuídas funções relacionadas com o Espaço. Mas não só, dado que condução e supervisão de operações deve ter uma compreensão comum e clara da forma como as capacidades espaciais (militares, civis, comerciais, nacionais e multinacionais) contribuem para as operações da Força Aérea. É, pois, essencial, criar a noção de higiene aeroespacial¹⁸ nos domínios de atuação da Força Aérea gerando conhecimento transversal e cultural que “respire” Espaço no seio da organização e das operações aéreas.

Dado o custo financeiro do Espaço e a necessidade da sua partilha, muito deste processo de aquisição de competências das pessoas afetas a este domínio será feito no seio de parcerias, tratados e trabalho colaborativo com outras organizações. Existe formação *online* disponível sobre várias matérias de EO (Saing (2020); NASA, 2024b).

No plano do **Material**, para o cálculo dos componentes da missão, deve-se ter em consideração os fatores conceito, gestão de projeto, engenharia de sistemas, segurança e garantia da missão (incluindo aspetos de segurança de voo, de procedimentos e de qualidade), ciência e tecnologia, cargas (*payloads*), aeronave espacial, operações espaciais, veículo de lançamento e serviços relacionados, sistemas em terra, integração e teste de sistemas e educação, treino e comunicação (NASA, 2010, p. 9).

Tendo em consideração o desígnio nacional, a complexidade e o custo elevado das componentes identificadas, a Força Aérea está a participar em parcerias com outros atores, militares e civis (Força Aérea, 2024), assegurando, no seio da organização, o material necessário para o funcionamento do centro de operações do espaço e respetiva ligação com outras estruturas organizacionais, ao nível da Defesa Nacional (MDN, 2018).

No plano da **Liderança** é necessário inserir as novas competências nas redes de C4I. É essencial que a Força Aérea, no âmbito do comando e controlo consiga utilizar os serviços e produtos provenientes do Espaço, integrando-os no seu produto operacional, tanto mais que terá como parceiros outras organizações militares e civis (e comerciais).

A preparação necessária abrange todas as áreas DOTMLPFI, em todos os níveis de comando e controlo, de forma a identificar as dependências e vulnerabilidades espaciais e a forma como se podem mitigar os efeitos da ameaça contribuindo para a consciência situacional nas várias fases das operações aeroespaciais.

No plano do **Pessoal**, dada a especificidade deste domínio, a curto e médio prazo, a capacidade Espaço terá um número limitado de especialidades funcionais (operações, informações, engenharia, ciência, aquisição e cibersegurança /comunicações, por exemplo), considerando programas específicos de aquisição de competências, por exemplo em cibersegurança (Páscoa et al., 2023).

¹⁸ Higiene aeroespacial no sentido de identificar os conhecimentos necessários transversais sobre o Espaço que as pessoas devem possuir, independentemente da área em que realizem a sua atividade e estabelecer procedimentos que seguem diariamente (comparado à higiene pessoal, ou à higiene de cibersegurança).

A publicação de doutrina SDP 1-0 (USSF, 2022) sobre o Pessoal apresenta como categorias de carreira a desenvolver, na área das operações, as de astronauta (oficiais), operações espaciais, informações e operações ciber espaciais.

O Quadro 1 apresenta as PO previsivelmente adstritas à Capacidade Espaço (USSF, 2024b) no domínio operacional que, devido à exigência e ao rápido avanço da tecnologia preconiza-se que algumas das especialidades sejam ocupadas por pessoal civil, por garantirem permanências longas. As competências espaciais foram adequadas ao contexto da Força Aérea. Por exemplo, a PO de *procurement and acquisition* está tradicionalmente situada no Comando da Logística pelo que foi redesenhada e retirada do COE e foi necessário adequar as funções às categorias de oficial, sargento e civil.

Quadro 1 – PO afetas ao Espaço e respetivas funções

Posição e Categoria	Descrição / Funções
PO1 Ciência e Engenharia Civil	Utiliza um conjunto de habilidades técnicas e científicas para desenvolver, operar e implementar os sistemas espaciais. As funções incluem: - Identificar e integrar novos sistemas e tecnologias de engenharia; - Acompanhar e melhorar as políticas, produtos e procedimentos técnicos; - Desenvolver, coordenar, organizar e gerir estudos, projetos e processos de engenharia.
PO2 Informações Civil	Analisa, relata e distribui informações para os principais componentes da missão contribuindo para a proteção da força contra ameaças previsíveis. As funções incluem: - Avaliar as vulnerabilidades das redes de telecomunicações e das informações que podem ser exploradas.; - Analisar sistemas de ameaças adversárias; - Divulgar informações sobre tendências económicas, políticas, culturais, sociais e geográficas que afetam a segurança nacional.; - Realizar formação sobre a recolha e comunicação de procedimentos e requisitos em matéria de informações.
PO3 Operações do Espaço Civil	Supervisiona o sistema para melhorar as comunicações e capacidades, incluindo a vigilância espacial e o comando e controlo. As funções incluem: - Gerir o treino, planeamento, controlo de missão e outras atividades que envolvam recuperação e lançamento de naves espaciais; - Desenvolver políticas de exploração espacial; - Assessorar no desenvolvimento, aquisição e operações de sistemas espaciais.
PO4 Tecnologias de Informação Civil	Mantém as informações seguras e disponíveis através da utilização de sistemas especializados de software e hardware. As funções incluem: - Desenvolver sistemas de tecnologia da informação; - Disponibilizar apoio ao programa e gerir o desenvolvimento de repositórios de dados; - Apresentar informações técnicas complexas para uma ampla gama de interessados.
PO5 Analista de Cyber segurança Civil	Assegura o sucesso das missões garantindo a operação de satélites e sistemas de orientação de mísseis. As funções incluem: - Garantir a confidencialidade, disponibilidade e integridade dos sistemas e redes cibernéticas; - Trabalhar <i>software, hardware e firmware</i> ; - Melhorar programas, políticas e procedimentos de segurança.
PO6 Informações Oficial	Efetua a análise de dados e a coordenação com outros serviços. As funções incluem: - Liderar e Supervisionar a análise e a fusão das informações recolhidas; - Desenvolver planos e políticas de informações; - Produzir análises de informações precisas integrando-as com as operações de combate.

[Cont.]

PO7 Operação de Efeitos Cyber Oficial	Assegura a eficácia das operações no ciberespaço, desde o planeamento até à supervisão das comunicações por satélite. As funções incluem: - Analisar as tarefas da missão, informações, terreno e meteorologia; - Aconselhar sobre os riscos associados e fatores de mitigação; - Empregar diretamente as capacidades do ciberespaço.
PO8 Analista de Alvos Sargento	Analisa alvos e assegurar a defesa contra ameaças potenciais. As funções incluem: - Apoiar, examinar e validar o desenvolvimento de alvos e análise de sistemas; - Gerir a lista de alvos e prioridades; - Apoiar o planeamento de missões; - Realizar avaliações de vulnerabilidade; - Desenvolver produtos e informações assentes em bases de dados; - Realizar Avaliação de Danos de Batalha; - Recomendar o re-ataque.
PO9 Analista de Fontes de Informação Sargento	Coleta e analisa dados brutos e avalia informações de várias fontes. As funções incluem: - Produzir estimativas de situação e avaliações; - Avaliar as capacidades ofensivas e defensivas; - Formar o pessoal militar em matéria de requisitos de recolha e comunicação de informações, reconhecimento e procedimentos; - Preparar, manter e apresentar relatórios.
PO10 Analista de Informações Sargento	Garantir que as informações sejam precisas, eficientes e seguras. As funções incluem: - Explorar comunicações globais para dar suporte a operações de redes de computadores; - Recuperar e correlacionar informações técnicas, geográficas e operacionais; - Produzir produtos técnicos e relatórios de informações, conforme necessário.
PO11 Analista de Informações Geoespaciais Sargento	Analisa imagens de satélites, veículos conduzidos remotamente identificando atividades incomuns e possíveis ameaças. As funções incluem: - Explorar, georreferenciar e analisar imagens de vários sensores e dados geoespaciais; - Analisar terrenos e estruturas e utilizar mapas para determinar a localização e a distância do alvo; - Preparar e apresentar relatórios de informações geoespaciais; - Compilar e manter imagens e pastas de destino; - Pesquisar e analisar imagens multisensores, dados geoespaciais e produtos associados.
PO12 Analista de Sinais (Informações) Sargento	Analisa a comunicação e a atividade de emissões eletromagnéticas detetando situações críticas. As funções incluem: - Operar equipamentos e sistemas informáticos para explorar sinais; - Manipular e extrair dados de emissões eletromagnéticas interpretando-as e analisando-as; - Atualizar as bases de dados com os resultados; - Efetuar análises gráficas e eletrónicas para distinguir estruturas de comunicação, extrair informações e determinar a utilização.
PO13 Operador de sistemas espaciais Sargento	Efetua as tarefas de acompanhamento de lançamento e de operações de voos espaciais, incluindo a deteção de mísseis balísticos e de satélites de seguimento. As funções incluem: - Detetar, identificar e manter parâmetros orbitais em veículos satélites terrestres; - Operar sistemas de controlo de espaço defensivo e ofensivo; - Detetar e rastrear lançamentos de mísseis; - Realizar operações de lançamento e em órbita para satélites; - Realizar operações de alcance em apoio a lançamentos espaciais e de mísseis balísticos.
PO14 Operador de operações espaciais Sargento	Supervisiona a vigilância espacial, transporte espacial, aviso espacial e comando e controlo por satélite e avalia a eficácia das operações espaciais. As funções incluem: - Formular políticas de operações espaciais; - Estabelecer requisitos de treino e padrões de desempenho para os sistemas; - Coordenar as atividades de operações espaciais; - Disponibilizar orientação sobre o uso adequado e cuidados com materiais sensíveis.

Fonte: USSF (2024b).

Nas **Infraestruturas** é necessário acompanhar o desenvolvimento e a construção de edifícios, plataformas de lançamento de satélites e outros equipamentos associados ao Espaço sendo um desiderato para a Força Aérea o envolvimento na comunidade nacional do Espaço.

No plano da **Interoperabilidade**, dada a natureza partilhada dos dados, produtos e serviços provenientes do Espaço é necessário assegurar os requisitos definidos por (Grest, 2022): eficácia (coerência, credibilidade, continuidade e profissionalismo), eficiência (desenvolvimento, planeamento, execução, C2 e análise e avaliação); interoperabilidade (conectividade, uniformização, estrutura, tecnologia, definições, segurança); qualidade (sobrevivência, sustentabilidade, reusabilidade, escalabilidade e flexibilidade).

Grest (2022, p. 63) aponta para um conjunto de interlocutores com quem um Centro de Operações Aeroespaciais se relaciona (Defesa Nacional, ramos das Forças Armadas, OTAN, parceiros, academia e ID&I, agentes espaciais civis, indústria, organizações governamentais e civis, etc.). É, pois, essencial assegurar interoperabilidade entre os sistemas, as pessoas, a tecnologia, a regulação e os procedimentos, incluindo a semântica, a formação, treino e qualificação, e os manuais de operação aos diferentes níveis.

3. Incorporação da capacidade Espaço nas operações aéreas

Representando componentes da estratégia de Portugal para o serviço dos seus satélites, as ENE2030 e EDNE2030 preveem a participação de Portugal nos programas do Espaço e a criação de parcerias com empresas civis para a edificação da capacidade. Algumas das estatísticas relativas ao Espaço incluem (Space Debris User Portal, 2023): cerca de 6.500 lançamentos de foguetes (excluindo falhas) desde o início da era espacial em 1957; cerca de 16.990 satélites que estes lançamentos colocaram na órbita da Terra (cerca de 11.500 ainda no Espaço dos quais cerca de 9.000 ainda em funcionamento; 35.150 objetos de detritos regularmente rastreados pelas redes de vigilância espacial e mais de 640 (número estimado) de ruturas, explosões, colisões ou eventos anómalos que resultaram em fragmentação.

Neste capítulo serão analisadas formas de contribuição do Espaço para as operações aéreas e discutidos os resultados e respondida à questão de investigação.

3.1. Comunicações por Satélite (SATCOM)

A comunicação por satélite permite a transmissão de voz, dados e outras aplicações através de um satélite. Com primórdios em 1945 (Ostovar, 2010) é hoje valorizada como um dos principais contributos para o mundo global e uma peça essencial para as operações militares e da estratégia nacional dos países representando, em 2020, cerca de 29% dos satélites declarados para utilização militar em órbita (Skinner, 2020).

Os programas da UE GOVSATCOM e IRIS² contemplam, respetivamente, o apoio a gestão de crises, a vigilância fronteiriça e marítima e a gestão de infraestruturas críticas e redes de comunicações diplomáticas, e (no caso do IRIS²) a ligação de infraestruturas chave a gestão de crises.

As operações aéreas e as operações militares (e civis) utilizam estes serviços sendo essencial assegurar a sua disponibilidade através de competências específicas que previnam os efeitos dos diferentes níveis de ameaça, nos diferentes domínios, por exemplo, da tecnologia, das comunicações e da cibersegurança.

3.2. Posicionamento, Navegação e Referência Temporal (PNT)

A UE opera os sistemas: i) GALILEO composto por 30 satélites, centros de controlo e uma rede de estações de sensores e estações de *uplink*; ii) EGNOS que é o sistema regional europeu de reforço baseado em satélites que é utilizado para melhorar o desempenho dos sistemas globais de navegação por satélite (GNSS), como o *Global Positioning System* (GPS) e o próprio GALILEO que foi implantado para fornecer serviços de navegação de salvaguarda da vida humana a utilizadores aéreos, marítimos e terrestres na maior parte da Europa.

O sistema GALILEO permite aos utilizadores conhecer a sua posição exata com maior precisão do que a oferecida por outros sistemas disponíveis e disponibiliza serviços utilizados diariamente pelos dispositivos de navegação dos automóveis, dos telemóveis e pelos serviços críticos de resposta a emergências.

As operações aéreas utilizam estes serviços sendo essencial assegurar a sua disponibilidade através de competências específicas que previnam os efeitos dos diferentes níveis de ameaça, nos diferentes domínios: tecnologia, comunicações, cibersegurança, por exemplo.

3.3. Consciência Situacional Espacial e Vigilância e Seguimento de satélites

O QAVRE foi criado pela UE em 2014¹⁹, prevendo um consórcio SST que conta atualmente com 15 Estados-Membros: Áustria, República Checa, Dinamarca, Finlândia, França, Alemanha, Grécia, Itália, Letónia, Holanda, Polónia, Portugal, Roménia, Espanha e Suécia.

SST refere-se à capacidade para detetar, catalogar e prever os movimentos de objetos espaciais que orbitam a Terra, que consiste em três funções: sensor, processamento e prestação de serviços.

A função "sensor" consiste numa rede de sensores para levantamento e seguimento de objetos espaciais em todos os regimes orbitais. A rede, apresentada na Figura 1, compreende atualmente 40 sensores dos Estados-Membros do consórcio SST (incluindo radares, telescópios e estações de laser) (EC, 2020; EU, 2023; EU SST, 2024)²⁰.

¹⁹ Decision 541/2014/EU of the European Parliament and the Council Establishing a Space Surveillance and Tracking Support Framework.

²⁰ SST Cooperation (2020). EU Space Surveillance and Tracking Service Portfolio.

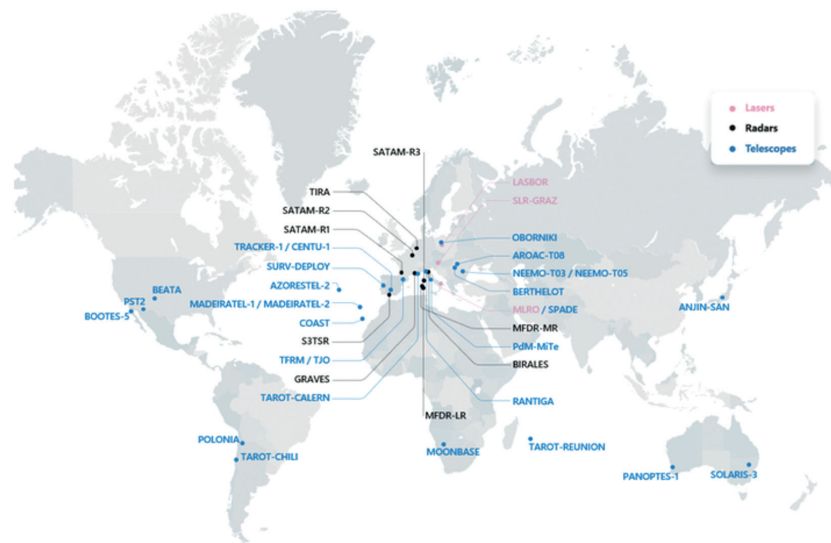


Figura 1 – Rede de Sensores SST da UE.
 Fonte: SST Cooperation (European Commission, 2020).

A função “processamento” visa coordenar a partilha, o tratamento de dados e a análise de dados partilhados para gerar o futuro Catálogo SST da UE.

A função de prestação de serviços é responsável por disponibilizar os serviços SST – Prevenção de Colisões, Análise de Reentrada e Análise de Fragmentação.

O serviço de **prevenção de colisões** fornece avaliação de risco de colisão entre naves espaciais ou entre naves espaciais e detritos espaciais, e gera alertas de prevenção de colisão para detetar:

- Eventos de Informação, que analisam encontros próximos com baixo nível de risco;
- Eventos de Interesse, que examinam encontros próximos que requerem uma análise mais aprofundada devido ao nível de risco;
- Eventos de Alto Interesse, que investigam encontros próximos com um alto nível de risco, potencialmente exigindo manobras de prevenção de colisão a realizar pelo proprietário/operador.

O serviço de **análise de reentrada** disponibiliza a avaliação de risco de entrada não controlada de objetos que se movimentam do Espaço para a atmosfera terrestre. O serviço monitoriza rotineiramente todos os objetos no Espaço com massa superior a 2.000 kg. Quando esses objetos estão próximos da reentrada, os sensores contribuem para a aquisição de dados adicionais com a finalidade de melhorar a precisão das previsões,

O serviço de análise de fragmentação fornece a deteção e caracterização de fragmentações em órbita. A informação disponível (dados de sensores que contribuem para a SST da UE e outras informações de fragmentação de fontes externas) é submetida a análises de curto, médio e longo prazo, concluindo com a disponibilização de diferentes produtos.

A Figura 2 apresenta excertos dos relatórios gerados (esquerda – análise de reentrada; direita – análise de fragmentação).

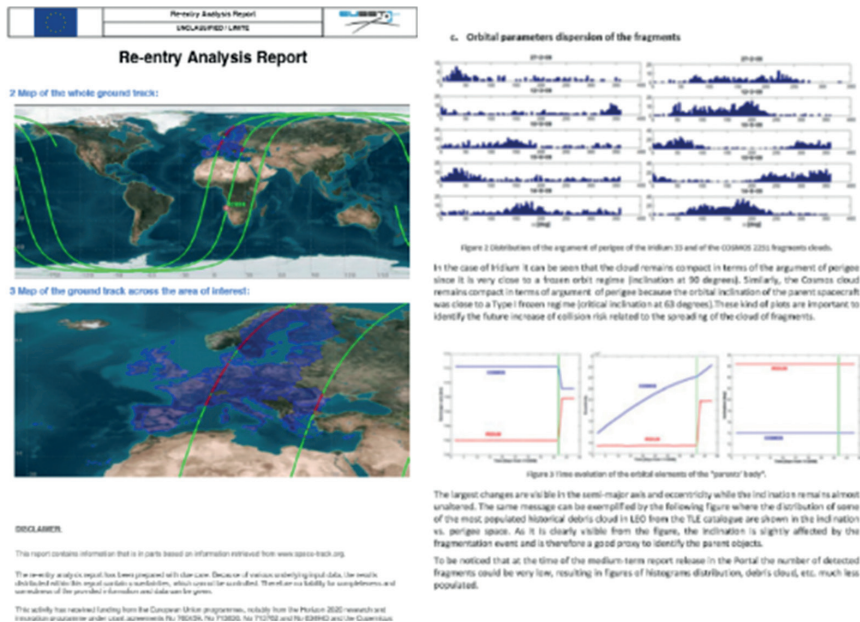


Figura 2 – Exemplo de Relatórios.
 Fonte: SST Cooperation (European Commission, 2020).

O acesso aos serviços requer registo no Portal SST (<https://www.eusst.eu/>) a que se segue o processo de aprovação.

A prestação dos serviços é realizada através do Portal SST e complementada por diálogo direto entre os intervenientes. O Portal SST permite aos utilizadores: i) baixar e aceder aos produtos; ii) carregar efemérides e informações de manobra (ou qualquer outro tipo de arquivo); iii) visualizar a evolução dos objetos no Espaço; iv) baixar os documentos de configuração do serviço; v) personalizar a configuração de notificação por e-mail; e vi) aceder ao relatório estatístico mensal dos serviços.

3.4. Intelligence Surveillance and Reconnaissance (ISR)

É comum a utilização dos produtos de EO para serem atingidos objetivos antes impossíveis, por exemplo, a utilização de imagens do satélite Sentinel-1 para reduzir o risco de colisão com aves (ESA, 2017a) e a obtenção de informações sobre a ocupação do solo (ESA 2017b).

Existem diversas aplicações que permitem a obtenção, análise e incorporação de informação de fontes abertas no planeamento de missão. Este parágrafo descreve a criação de vários artefactos digitais, no seio da Força Aérea, que utilizam ou incorporam informação proveniente de satélites e de fontes abertas, com o objetivo de demonstrar a utilidade desta informação, captada diretamente, ou através da utilização de GIS. Neste âmbito são apresentados exemplos de modelo digitais, de análise de risco, de planeamento de missão, de deteção de alvos e de análise dos efeitos de catástrofes (incêndios e cheias).

Estes produtos (criados ou adaptados para poderem funcionar no contexto da Força Aérea) podem ser inseridos nas várias fases das operações aéreas, desde o planeamento até à análise das missões, apresentando, assim, exemplos de ligação entre o Espaço, a Informação e as Operações.

3.4.1. Criação de Modelos Digitais

Os produtos espaciais incluem, por exemplo, informação de fonte aberta sobre a elevação do terreno captada através dos satélites. Destacam-se dois modelos de elevação digital (DEM)²¹ do instrumento *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* (ASTER) (NASA, 2024c) do satélite Terra que está disponível gratuitamente para 99% do globo e representa elevação com 30 metros de resolução. Outra fonte de DEM é o *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) (NASA, 2024d).

A partir do DEM é possível criar modelos digitais de objetos de interesse e completá-los com informação geográfica que possa contribuir para acrescentar valor à decisão, e complementá-los com informação proveniente do *Open Street Map* (OSM, 2024), inserindo as camadas geográficas no software Quantum GIS (QGIS, 2024) e obtendo a visualização em três dimensões (3D) através do software *Qgis2threeJS* (Akagi, 2024).

A título de exemplo, a Figura 3 apresenta dois aspetos do modelo digital de uma Base Aérea. Em cima é apresentado o aspeto global da Unidade enquanto em baixo a vista é ampliada para incluir os edifícios, árvores, os arruamentos, a rede de água a iluminação e as marcas no asfalto.

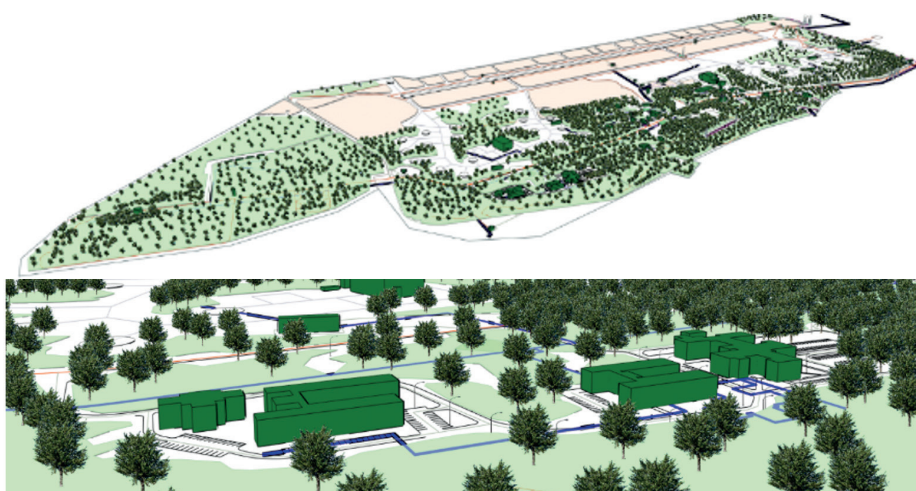


Figura 3 – Aspetos do Modelo digital de uma Base Aérea.

Fonte: Construído a partir de QGIS (2024), Qgis2threeJS (Akagi, 2024) e OSM (2024).

²¹ Em inglês, *Digital Elevation Model* (DEM)

3.4.2. Análise de Risco

Através de índices criados pela ciência ao longo do tempo, é possível observar características do solo, por exemplo, a quantidade de água, através de imagens de satélite. O *Copernicus Browser* (ESA, 2024a) permite a consulta de imagens provenientes dos vários satélites e a seleção de uma área de interesse, da percentagem de nuvens, da(s) data(s) de interesse, do satélite e o índice pretendido.

No caso em apreço, foi selecionada uma área e retirado o Índice *Normalized Difference Water Index* (NDWI)²² (Sentinelhub, 2024) numa área de interesse.

A parte superior da Figura 5 apresenta a interface do *Copernicus Browser* e os parâmetros selecionados. Esta imagem é depois transferida para o GIS onde é possível filtrar as bandas de acordo com os parâmetros que permitem analisar a quantidade de água no solo (normalmente feita depois de um período de dias sem precipitação) e onde se pode avaliar, após aplicar a escala do índice, onde existe água.

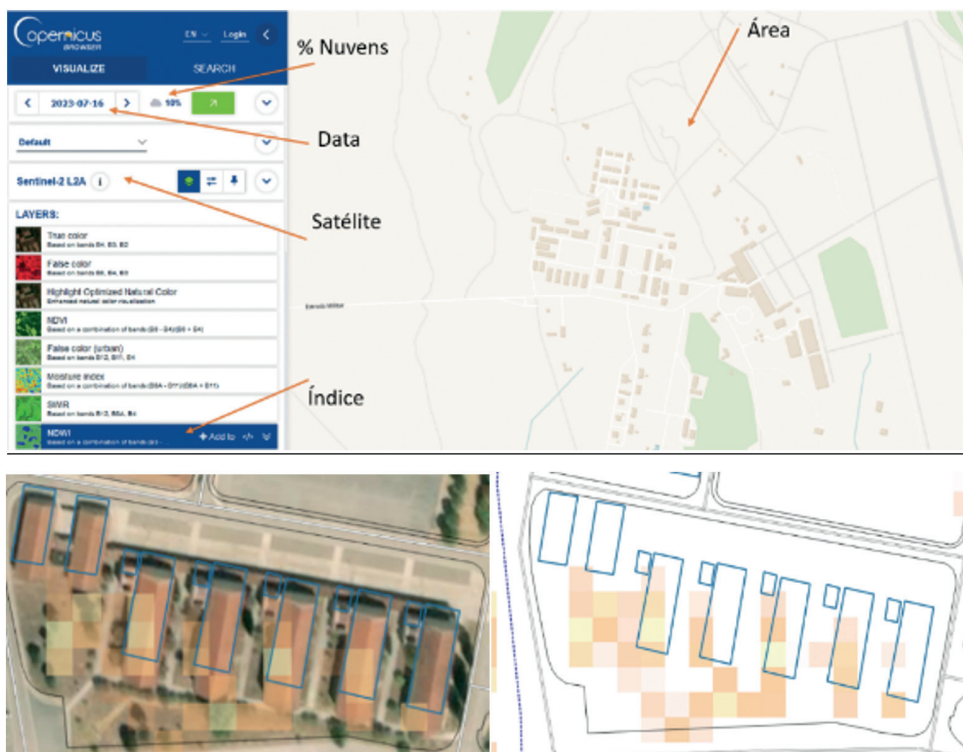


Figura 5 – Análise de Risco.

Fonte: Construído a partir de *Copernicus Browser* (ESA, 2024a), QGIS (2024), OSM (2024).

²² O índice de água de diferença normalizada (NDWI) é adequado para o mapeamento de água existente no solo.

No caso em apreço, pode ser observado na parte inferior da figura que os pixéis (quadrados) podem indicar a existência de água no solo pelo que, não significando que exista uma fuga de água (pode ter sido regado ou pode ter caído chuva recentemente), deve ser complementado com observação no terreno para avaliar a existência de fugas de água.

3.4.3. Planeamento de Missão e Simulação

De forma a obter consciência situacional sobre uma determinada área, a informação de satélite, inserida numa aplicação GIS, pode considerar várias camadas de informação e até movimento.

A Figura 6 apresenta um aspeto do planeamento de uma missão do UAS OGS-42 da Força Aérea no âmbito da vigilância a IR onde é possível ver a rota planeada da aeronave (linha a vermelho), os IR (fumo) e áreas ardidas em diferentes anos (zonas a amarelo e grená) (Páscoa & Morgado, 2023).

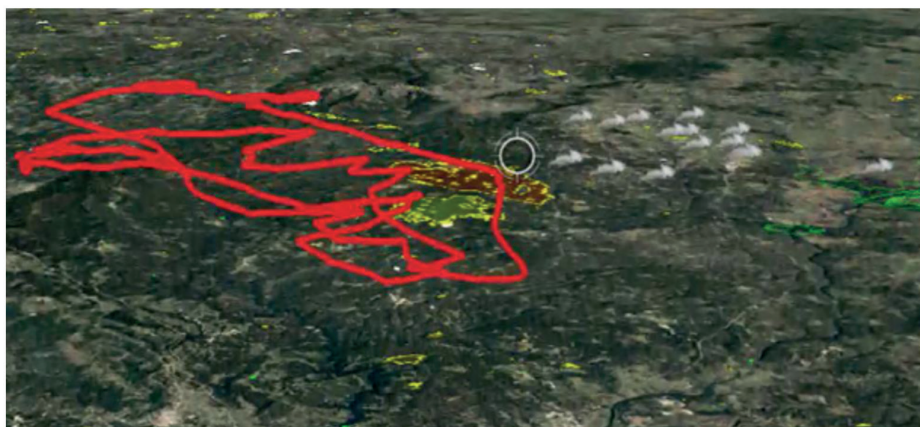


Figura 6 – Planeamento e Simulação de um voo UAS.

Fonte: Páscoa & Morgado (2023) utilizando o Google Earth (Google, 2024a).

No caso apresentado é possível animar o voo das aeronaves com diversos ângulos de visualização e simular, por exemplo, se uma posição no terreno é vista a partir da aeronave.

3.4.4. Detecção de Alvos

O satélite Sentinel-1 possui em sensor com capacidade para detetar sinais radar, não afetados por condições meteorológicas, por exemplo nuvens. A Figura 7 (superior) apresenta a diferença de visualização da imagem ótica do Sentinel-2 (esquerda) para a imagem radar do Sentinel-1 (direita). Na visualização apresentada, utilizando o *Google Earth Engine* (GEE) (Google, 2024b), é possível a comparação de imagens entre os dois sensores.

O acesso ao radar permite igualmente detetar alvos de superfície que, de outra forma, não estariam visíveis sem meios de ISR. É o caso dos navios detetados na Figura 7 (meio inferior).

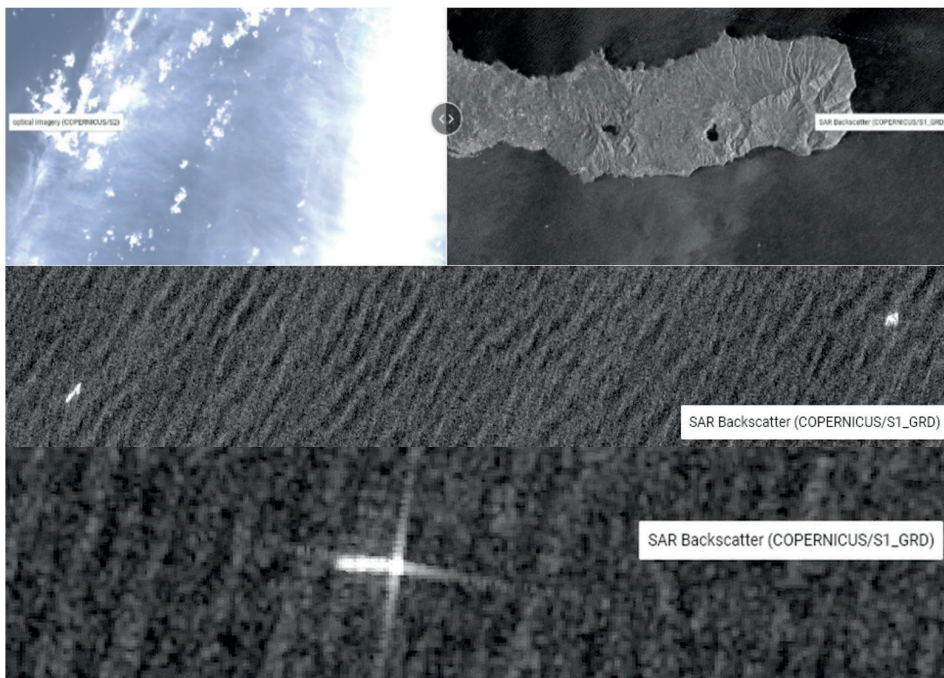


Figura 7 – Detecção de alvos utilizando o Sentinel-1 SAR backscatter.
 Fonte: Construído a partir do algoritmo executado no executado no *GEE* (Google, 2024b).

3.4.5. Análise de Catástrofes, IR

No processo de planeamento das ações de vigilância ao território, no âmbito dos IR, ter conhecimento da ação do fogo e da forma como o território foi afetado é importante para delinear as operações aéreas, por exemplo, dos UAS.

Este tópico apresenta dois exemplos. No primeiro, apresenta-se a forma de recorrer aos satélites para obter informação acerca da área ardida e da forma como o fenómeno se desenrolou, tendo como EC o incêndio da Serra da Estrela, em 2022. O segundo exemplo tem como EC um incêndio ocorrido em Cinfães, em que o UAS recolheu aspetos do incêndio que são comparados com a informação obtida a partir do satélite.

No primeiro caso, a Figura 8 apresenta: (superior esquerda), a área de interesse, delimitada para efeitos do estudo; (superior centro), o resultado da aplicação de um algoritmo (adaptado de *UN-Spider*) (UN, 2024) em *JAVA script* que corre no *GEE* (Google, 2024b) para, através de imagens pré e pós evento provenientes do Satélite Sentinel-2, determinar o índice *Normalized Burn Ratio* (NBR) (UN, s.d.; Keeley, 2009) pré e pós evento para, em seguida, calcular a diferença entre ambos e determinar a *dNBR* que apresenta a severidade do terreno queimado de acordo com a escala proposta pela *United States Geological Survey* (USGS) e com as cores propostas pela *UN-Spider* (UN, s.d.), visíveis na parte central esquerda da Figura e onde se podem visualizar a roxo as áreas mais afetadas pelo IR;

Na parte superior direita apresentam-se aspetos da reconstituição da evolução do IR (Páscoa & Morgado, 2023), com informação disponibilizada pelos satélites, onde é apresentada a área ardida total e as horas em que os focos de incêndio foram detetados pelos satélites Suomi NPP e NOAA-20 através dos instrumentos *Visible Infrared Imager-Radiometer Suite* (VIIRS) (NASA, 2024e) e *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) (NASA, 2024f).

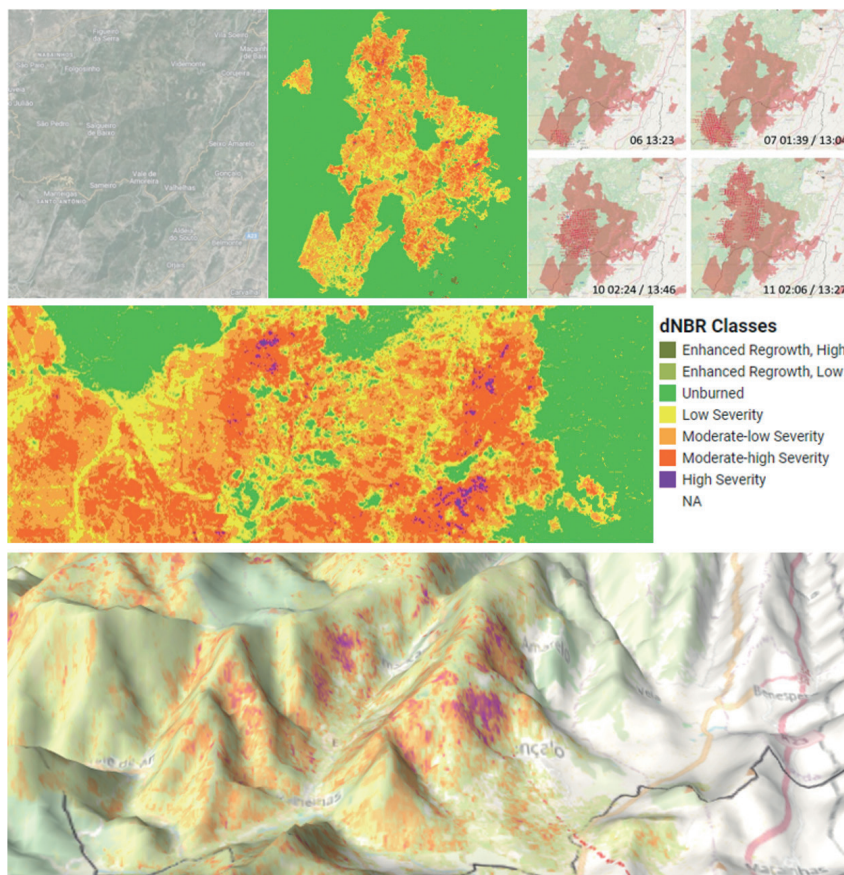


Figura 8 – Análise da evolução e efeitos de IR (exemplo 1).

Fonte: (Imagem superior esquerda e centro e imagens no meio) Construído a partir do algoritmo adaptado de UN-Spider (UN, 2024), com script em GEE (Google, 2024b); (Imagem superior direita) Páscoa e Morgado (2023); (Imagem inferior) Construído a partir do QGIS (2024), OSM (2024), qgis2threeJS (Akagi, 2024) e SRTM (NASA, 2024d).

A ligação deste algoritmo com o terreno e a utilização de funcionalidades do GIS, apresentada na parte inferior da Figura 8, é feita através da exportação da imagem obtida no GEE e a importação no QGIS com a posterior inclusão do modelo de elevação SRTM a partir do OSM (2024), visualizado em 3D pela utilização do *Qgis2threeJS* (Akagi, 2024), o que permite o posicionamento, no terreno e em 3D das áreas afetadas com maior severidade.

O segundo exemplo descreve a participação da Força Aérea na captação de imagens com os sensores eletro-ótico e de infravermelho que equipam os UAS OGS-42, em 2018 num IR perto de Cinfães.

A Figura 9 apresenta, nas imagens da parte superior, o aspeto do IR captado pelo sensor eletro-ótico (esquerda), infravermelho (centro) e visualização em QGIS (2024) (direita) utilizando *Qgis2threeJS* (Akagi, 2024), SRTM e o NBR (UN, s.d.; Keeley, 2009) permitindo, deste modo, a comparação entre as imagens captadas com o UAS OGS-42 e o índice NBR, calculado a partir do satélite, para determinar a severidade dos efeitos do IR no solo (escala de cores NBR apontada pela seta na figura).

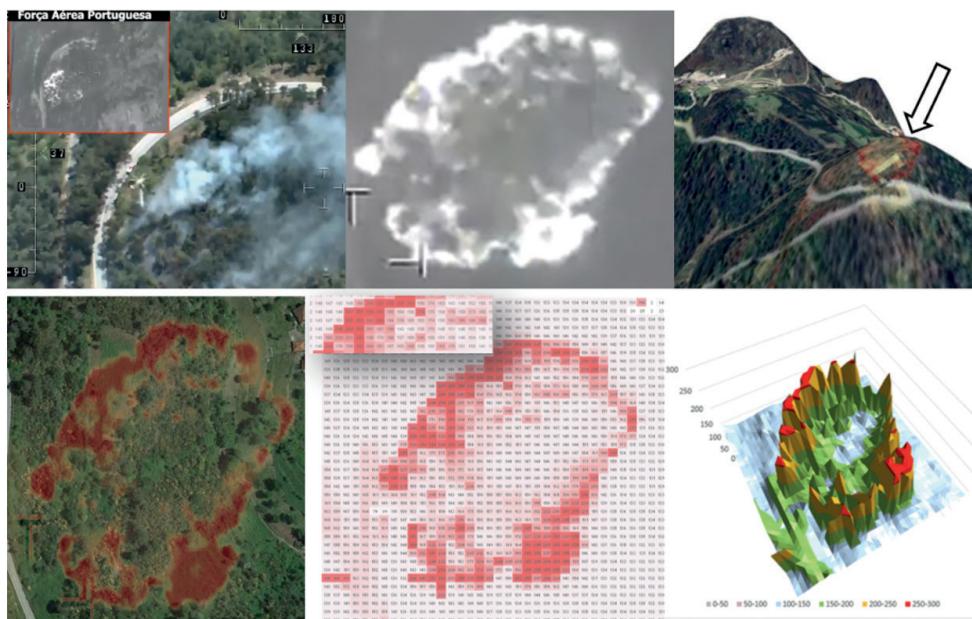


Figura 9 – Aspeto de um IR captado pelo UAS da Força Aérea, com posicionamento 3D no terreno.

Fonte: Força Aérea (2018), Modelos digitais construídos utilizando QGIS (2024), *qgis2threeJS* (Akagi, 2024) e SRTM (NASA, 2024d).

Na parte inferior: (esquerda) a imagem do IR georreferenciada e importada para o GIS, com uma granularidade de 10 metros (cada pixel representa um quadrado de 10 metros); (centro) a intensidade do IR captado pelo sensor de infravermelhos modelada digitalmente através da escala de cores RGB (*red, green, blue*); (direita) modelo digital 3D com escala de cores relacionada com a intensidade do IR.

3.4.6. Análise de Catástrofes, inundações

A análise do efeito das inundações é um elemento essencial para se poder prever o que poderá ser afetado por fenómenos climatológicos. O exemplo apresentado diz respeito às

inundações em São Miguel, nos Açores, em janeiro de 2022. A observação através de satélites permite comparar o estado do objeto de interesse antes e depois. Em termos de planeamento de operações ajuda a priorizar as áreas em que os meios serão empenhados, por exemplo de acordo com a população existente.

O processo é iniciado com a criação de um gráfico para determinar datas em que existiu precipitação acima do normal, com recurso à informação histórica retirada através do *Global Precipitation Measurement* (NASA, 2024g). É igualmente possível recorrer a outras aplicações da NASA, por exemplo a aplicação GIOVANNI (NASA *Earth Data*) (NASA, 2024h) para estabelecer a área, o período temporal e o tipo de relatório pretendido.

Depois de seleccionar o evento em janeiro de 2022, é retirado o valor da precipitação média, em milímetros por hora (mm/hh), para o período pretendido. No caso em estudo, a precipitação que ocorreu no período de 18 a 20 de janeiro, conforme apresentado na imagem superior esquerda da Figura 10.

Pode ser feita uma análise compreensiva dos efeitos da precipitação no local de interesse. Os apresentados na parte superior (centro e direita) e na parte do meio da Figura, são obtidos através da adaptação de um script em linguagem *JAVA* adaptado de *UN-Spider* (UN, 2024) e executado no GEE (Google, 2024b) que retira várias camadas de informação do satélite Sentinel-1 (ESA, 2024b).

A partir da ocupação do solo, é possível estimar a área inundada (2.303 hectares, no exemplo apresentado), comparar as áreas afetadas com as áreas agrícolas e estimar a área agrícola afetada (118 hectares, no exemplo apresentado) e, através da consulta a repositórios de informação global, estimar o número de pessoas afetadas.

É possível produzir um ficheiro georeferenciado com o resultado do processo que pode ser importado para uma aplicação GIS. A imagem na parte inferior da Figura apresenta o resultado da importação do ficheiro para o *Google Earth* (Google, 2024a) onde se podem utilizar as funcionalidades daquela aplicação para visualizar os locais inundados.

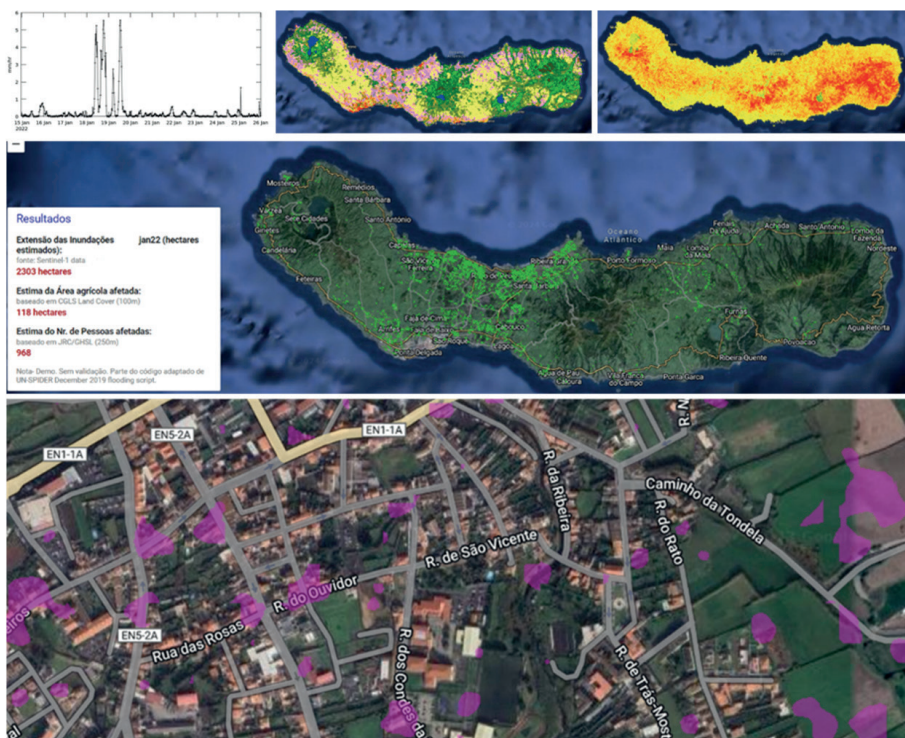


Figura 10 – Análise da área agrícola e população afetadas pelas cheias de janeiro de 2022.

Fonte: Construído a partir de NASA Giovanni (2024), construído a partir do algoritmo adaptado de UN-Spider (2024), executado no GEE (Google, 2024b), Fonte: Algoritmo adaptado de UN-Spider (2024), resultado importado para a Google Earth (Google, 2024a).

3.5. Resposta à Questão e ao Objetivo de Investigação

A QI é caracterizada pelos requisitos: R.1 Identificar as áreas do ciclo de operações e os serviços e produtos de ISR do Espaço que podem contribuir para acrescentar valor e melhorar a decisão, R.2 Identificar e tornar tangíveis as áreas e os conceitos aplicáveis e R.3 Identificar as PO relacionadas com as atividades no Espaço e descrever as suas funções.

Na Tabela 1, para cada serviço proporcionado pelo Espaço, é apresentada a análise da adequação às operações e informações (R.1), a identificação dos conceitos associados (R.2) e o relacionamento com as áreas de competência e identificação das competências e funções (R.3) (desenvolvida no Quadro 1).

Tabela 1 – Resposta à Questão de Investigação.

Posição e Categoria	Descrição / Funções
SATCOM (§ 3.1) e PNT (§ 3.2)	<p>Contribuem decisivamente para o sucesso das ações aéreas. Contudo, dado o nível de ameaça existente sobre estes serviços é necessário garantir mecanismos alternativos de comunicação, de navegação e de obtenção de tempo preciso pelo que é preciso assegurar competências nas áreas de: ciência e engenharia, informações, operações, análise e efeitos cyber.</p> <p>Análise dos Requisitos:</p> <p>R.1 Aplicável às informações e às operações (SATCOM e PNT);</p> <p>R.2 Serviços proporcionados pelas comunicações por satélite, no caso do SATCOM e por tempo e navegação precisos, no caso do PNT;</p> <p>R.3 PNT: PO1, PO3-5; PO7, PO12-14 (ver coluna "Posição" do Quadro1);</p> <p>SATCOM: PO1, PO2, PO4, PO5; PO7, PO12-14.</p>
SSA/SST (§ 3.3)	<p>O SST é essencial para a observação e controlo do movimento dos satélites no Espaço e para a prevenção de colisões entre estes e objetos à deriva, permitindo, inclusivamente alertar os operadores de satélite para alterações de rota com o objetivo de evitar colisões. Tendo em consideração que esta capacidade assenta num número de sensores variados (radar, laser, telescópio), é essencial para as informações conhecer a localização e o percurso dos satélites e para a operação saber que alterações eventuais necessita de desenvolver para escapar ao perigo de colisão.</p> <p>Análise dos Requisitos:</p> <p>R.1 Aplicável às informações e às operações;</p> <p>R.2 Prevenção de colisões, análise de reentrada, análise de fragmentação, navegação espacial, operação de satélites, operação no espaço, ciência e engenharia;</p> <p>R.3 PO1-14.</p>
Criação de Modelos Digitais (§ 3.4.1)	<p>Os modelos digitais permitem associar camadas de informação variada num modelo totalmente controlado. Adicionalmente, a utilização de GIS permite:</p> <ul style="list-style-type: none"> - interrogar o modelo e associar diversos tipos de áreas de interesse; - visualizar o modelo em 2D e em 3D com rotação; - desenvolver lógica em cima das camadas. <p>Análise dos Requisitos:</p> <p>R.1 Aplicável às informações e às operações;</p> <p>R.2 Modelo digital, Modelo de elevação digital, Camada de informação, Relação entre Camadas, Operações de Lógica sobre Camadas;</p> <p>R.3 PO1-2, PO4, PO6, PO8-12.</p>
Análise de Risco (§ 3.4.2)	<p>A utilização dos produtos e serviços espaciais permitem ter conhecimento situacional relevantes sobre as áreas de interesse para as missões dos meios aéreos. A análise de risco apresentada incidiu sobre a observação do solo baseada no índice NWDI. Outro tipo de análise é possível, como por exemplo a simulação de inundações em áreas relevantes para a operação.</p> <p>Análise dos Requisitos:</p> <p>R.1 Aplicável às informações e às operações;</p> <p>R.2 Modelo digital, Modelo de elevação digital, Camada de informação, Relação entre Camadas, Operações de Lógica sobre Camadas, Índices científicos de EO;</p> <p>R.3 PO1-2, PO4, PO6, PO8-12.</p>
Planeamento de Missão e Simulação (§ 3.4.3)	<p>No caso do planeamento de missão, é possível, utilizando dados provenientes dos satélites, proporcionar informação geográfica de apoio à decisão, incluindo: posicionamento de ativos de interesse, cálculo de alcances baseados em distância ou em velocidade, movimento do alvo de interesse simulando os parâmetros de missão e antecipando os resultados; visualização de raios de cobertura 3D.</p> <p>Análise dos Requisitos:</p> <p>R.1 Aplicável às informações e às operações;</p> <p>R.2 Modelo digital, Modelo de elevação digital, Camada de informação, Relação entre Camadas, Operações de Lógica sobre Camadas;</p> <p>R.3 PO1-2, PO4, PO6, PO8-12.</p>

[Cont.]

Deteção de Alvos (§ 3.4.4)	<p>O seguimento e a deteção de alvos são essenciais para o planeamento das operações pelo que os satélites têm utilidade para avaliar a situação de locais ou plataformas de interesse, em todas as fases do ciclo de operações.</p> <p>Análise dos Requisitos:</p> <p>R.1 Aplicável às informações e às operações;</p> <p>R.2 Modelo digital, Modelo de elevação digital, Camada de informação, Relação entre Camadas, Seguimento e deteção de alvos; análise do efeito das ações aéreas;</p> <p>R.3 PO1-2, PO4, PO6, PO8-12.</p>
Análise de catástrofes, Incêndios Rurais (§ 3.4.5) e Inundações (§ 3.4.6)	<p>No âmbito de análise de catástrofes apresentaram-se dois exemplos, relativos aos IR e às Inundações o que demonstra:</p> <ul style="list-style-type: none"> - interrogar o modelo e associar diversos tipos de áreas de interesse; - visualizar o modelo em 2D e em 3D com rotação; - utilizar informação complementar de mais do que uma fonte (neste caso, dos satélites e do UAS); - identificar o nível de severidade de afetação do solo relacionado com a exposição ao calor; - utilizar índices científicos para a produção de informações relacionadas com o apoio à decisão. <p>Análise dos Requisitos:</p> <p>R.1 Aplicável às informações e às operações.</p> <p>R.2 Modelo digital, Modelo de elevação digital, Camada de informação, Relação entre Camadas, Seguimento e deteção de alvos; análise do efeito das ações aéreas.</p> <p>R.3 PO1-2, PO4, PO6, PO8-12.</p>

Como súmula da resposta aos requisitos da QI o Quadro 2 apresenta a relação entre os diversos requisitos e a identificação das funções.

Quadro 2 – Resposta à Questão de Investigação.

Posição	Área	Categoria	Relação com as informações e com as operações aéreas	ISR								
				SATCOM	PNT	SSA+SST	Criação de Modelos Digitais	Análise de Risco	Planeamento de Missão e Simulação	Deteção de Alvos	Análise dos efeitos de Incêndios Rurais	Análise dos efeitos de Inundações
				§ 3.1	§ 3.2	§ 3.3	§ 3.4.1	§ 3.4.2	§ 3.4.3	§ 3.4.4	§ 3.4.5	§ 3.4.6
PO1	Ciência e Engenharia	Civil	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
PO2	Informações	Civil	x	x		x	x	x	x	x	x	x
PO3	Operações do Espaço	Civil	x	x	x	x						
PO4	Tecnologias de Informação	Civil	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

[Cont.]

PO5	Analista de Cyber segurança	Civil	x	x	x	x						
PO6	Informações	Oficial	x			x	x	x	x	x	x	x
PO7	Operação de Efeitos Cyber	Oficial	x	x	x	x						
PO8	Analista de Alvos	Oficial	x			x	x	x	x	x	x	x
PO9	Analista de Fontes de Informação	Sargento	x			x	x	x	x	x	x	x
PO10	Analista de Informações	Sargento	x			x	x	x	x	x	x	x
PO11	Analista de Informações Geoespaciais	Sargento	x			x	x	x	x	x	x	x
PO12	Analista de Sinais (Informações)	Sargento	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
PO13	Operador de sistemas espaciais	Sargento	x	x	x	x						
PO14	Operador de operações espaciais	Sargento	x	x	x	x						

Fonte: Adaptado de USSF (2024b).

Na sequência do escrito nos parágrafos anteriores, e na avaliação dos requisitos, a resposta à QI é que o Espaço já tem um contributo essencial nas informações e operações aéreas, designadamente nas comunicações, posicionamento e navegação precisas via satélite, que virá a ser aprofundado nas várias áreas, com a disponibilização adicional de produtos e serviços SSA e ISR sendo necessárias as competências e funções identificadas no Quadro 2 e descritas no Quadro 1.

Pelo que se considera que o OI desta investigação foi conseguido e materializado, não só pela descrição, como pela demonstração da utilidade dos atuais serviços e produtos e da sua ligação às competências e funções necessárias.

4. Conclusões

Orientada pelo OI e pela QI, a investigação utilizou a metodologia de *Estudos de Caso*, com o objetivo de identificar soluções para a observação da Terra a partir de satélites e estabelecer uma relação entre as operações espaciais e aéreas e as PO.

Descrevem-se, em seguida, os pontos mais relevantes das etapas:

– Na primeira etapa foram identificados os conceitos associados à investigação, definidos requisitos específicos e elaborado o planeamento;

– Na segunda etapa foi recolhida informação sobre os produtos captados pelos satélites e sobre competências espaciais. Foi, igualmente, feita a formulação dos seis EC;

– A terceira etapa compreendeu a análise da informação e a definição das funções das PO e o desenvolvimento / adaptação dos programas informáticos para o contexto da Força Aérea. Foram analisados e construídos os seis EC e feita a demonstração de como podem ser utilizados no contexto operações aéreas / espaciais / fusão de informação;

– Na quarta etapa foram analisados os resultados da investigação e feita a respetiva avaliação em relação aos requisitos. Foi desenvolvido este artigo científico para comunicar os resultados da investigação, as conclusões retiradas, o conhecimento científico acrescentado e ações futuras.

Neste artigo foram apresentadas as principais estratégias para o Espaço e os serviços e produtos do Espaço nas componentes de SATCOM, PNT, SSA/SST e de ISR, onde foram identificados seis EC que podem contribuir para as operações aéreas e que exigem competências das informações e de outras áreas essenciais para a integração e utilização plena no poder aéreo. As competências associadas à capacidade Espaço foram identificadas e relacionadas com as funções, tendo como ponto de partida os EC apresentados. Concluiu-se que o Espaço pode ter um contributo essencial para as operações aéreas devendo ser integrados com o ciclo de informações.

Como resposta à QI conclui-se que os serviços e produtos do Espaço já contribuem para nas informações e operações aéreas, designadamente nas comunicações e posicionamento e navegação precisas via satélite, que virá a ser aprofundado nas várias áreas, com a disponibilização adicional de produtos e serviços SSA e ISR sendo necessárias as competências identificadas no Quadro 2 (cujas funções estão descritas no Quadro 1).

Os principais contributos para o conhecimento decorrem da análise efetuada nos EC, que apresentam exemplos de integração de serviços e produtos do espaço nos ciclos de análise de informações e de operações aéreas desenvolvidas pela Força Aérea e identificam as posições e as funções necessárias para a edificação da capacidade “Espaço”.

No respeitante a estudos futuros, na senda da edificação da Força Aeroespacial, considera-se pertinente identificar os processos que é necessário desenvolver para integrar os produtos da trilogia Informações, Operações, Espaço e aprofundar o estudo dos serviços e produtos relacionados.

A integração do Espaço no produto operacional da Força Aérea e a sua evolução, com os benefícios decorrentes da participação em parcerias com diversas valências e competências, é um desígnio e uma oportunidade para acrescentar valor ao futuro Poder Aeroespacial no seio das diversas Alianças e parcerias de que Portugal faz parte, sendo mais um contributo da Força Aérea para a transformação das operações militares.

“Aqui se lhe apresenta que subia
Tão alto que tocava à prima Esfera,
Donde diante vários mundos via,
Nações de muita gente, estranha e fera.”

“Os Lusíadas - Canto IV”, Luís de Camões, 1572

Referências bibliográficas

- Agência Espacial Portuguesa (PT-Space) (2023). Portuguese Space Agency is celebrating 30 years of POSAT-1 [Página online], Portuguese Space Agency. Retirado de <https://ptspace.pt/portuguese-space-agency-is-celebrating-30-years-of-posat-1/>.
- Agência Espacial Portuguesa (PT-Space) (2024a). *Space Catalogue* [Página online], Portuguese Space Agency. Retirado de <https://ptspace.pt/portuguese-space-analogue-sites-and-facilities/>.
- Agência Espacial Portuguesa (PT-Space) (2024b). *AEROS will be Portugal's second satellite in space* [Página online], Portuguese Space Agency. Retirado de <https://ptspace.pt/aeros-will-be-portugals-second-satellite-in-space/>.
- Akagi, M. (2024). Qgis2threejs, 3D visualization powered by WebGL technology and three.js JavaScript library [Página online]. Retirado de <https://plugins.qgis.org/plugins/Qgis2threejs/#plugin-versions>.
- Bailey, B. (2020). *Establishing Space Cybersecurity Policy, Standards, and Risk Management Practices* [versão PDF]. Aerospace. Retirado de https://aerospace.org/sites/default/files/2020-10/Bailey%20SPD5_20201010%20V2_formatted.pdf.
- Baird, D. (2019). *NASA Develops Second-Generation Search and Rescue Beacon Technology* [Página online]. NASA's Space Communications and Navigation Program Office, 2 December 2019. Retirado de <https://www.nasa.gov/missions/artemis/nasa-develops-second-generation-search-and-rescue-beacon-technology/>.
- Banks, M. (2019). *NATO names space as an "operational domain", but without plans to weaponize it* [Página online]. Defensenews.com, 20 de novembro de 2019. Retirado de <https://www.defensenews.com/smr/nato-2020-defined/2019/11/20/nato-names-space-as-an-operational-domain-but-without-plans-to-weaponize-it/>.
- Black, J., Slapakova, L., & Martin, K. (2022a). *Future Uses of Space Out to 2050* [versão PDF]. RAND Europe, Cambridge, UK. Retirado de https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/research_reports/RRA600/RRA609-1/RAND_RRA609-1.pdf.
- Black, J., Slapakova, L., & Martin, K. (2022b). *Future Uses of Space Out to 2050 – Technical Annex* [versão PDF]. RAND Europe, Cambridge, UK. Retirado de https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/research_reports/RRA600/RRA609-1/RAND_RRA609-2_annex.pdf.
- Calaixo C., Páscoa C., & Pinto J. (2022). *Measures to make the Portuguese Air Force a Carbon Neutral Organization*. Revista de Ciências Militares, May X(1):233–260. Lisboa, Portugal.
- Catapult (2017). *Routes to Market Report: 15 - Satellite Technologies for Gaming, Augmented Reality and Simulation* [versão PDF]. Retirado de <https://arxiv.org/pdf/2301.03815.pdf>.
- Celestrack (2024). NORAD GP Element Sets, Active Satellites [Página online]. <https://celestrak.org/NORAD/elements/>.
- Chapeaux, T. (2022). *The new NATO Space Centre of Excellence*, Joint Air Power Competence Centre, August 2022, Kalkar, Germany. Retirado de <https://www.japcc.org/wp-content/uploads/The-new-NATO-Space-Centre-of-Excellence.pdf>.

- Correia R., Páscoa C., & Pinto J. (2022) *Optimising the Portuguese Air Force's Carbon Sequestration Potencial*. Revista de Ciências Militares, May X (1):167–200, Lisboa, Portugal.
- Council of the European Union (2022a). *A Strategic Compass for Security and Defence* [versão PDF], Documento n.º 7371/22 de 21 de março de 2022. Retirado de <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-7371-2022-INIT/en/pdf>.
- Council of the European Union (2022b). Uma Bússola Estratégica para reforçar a segurança e a defesa da UE ao longo da próxima década [Página online]. Comunicado de imprensa de 21 de março de 2022. Retirado de <https://www.consilium.europa.eu/pt/press/press-releases/2022/03/21/a-strategic-compass-for-a-stronger-eu-security-and-defence-in-the-next-decade/>.
- Council of the European Union (CUE) (2016). *Space Strategy for Europe* [versão PDF]. Documento n.º 13758/16 de 28 de outubro 2016. Retirado de <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-13758-2016-INIT/en/pdf>.
- Creswell, J. W. (2014). *Research Design: Qualitative, Quantitative and Mixed Methods Approaches* (4th ed.). Thousand Oaks, CA: Sage.
- de Zwart, M. (2020). *International Space Law, and Military Use of Space* [Página online], August 24, 2020. Melissa de Zwart, 'International space law and military uses of space' (2020) 42(2) Law Society Bulletin 10-12., U. of Adelaide Law Research Paper No. 2020-123, Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3679675>.
- Decisão (UE) n.º 2016/1841, de 05 de outubro (2016). *Celebração, em nome da União Europeia, do Acordo de Paris adotado no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas*. Jornal Oficial da União Europeia, 282, Bruxelas: Conselho da União Europeia. Retirado de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX%3A32016D1841>.
- Defense Intelligence Agency (2022). *Challenges To Security in Space* [versão PDF]. Retirado de https://www.dia.mil/Portals/110/Documents/News/Military_Power_Publications/Challenges_Security_Space_2022.pdf.
- Demopoulos, A. (2023). Building in zero gravity: the race to create factories in space Browser [Página online]. The Guardian. Retirado de <https://www.theguardian.com/science/2023/sep/25/space-manufacturing-zero-gravity>.
- Despacho do Ministro da Defesa Nacional (MDN), de 18 de dezembro (2020). *Aprova Estratégia da Defesa Nacional para o Espaço 2020-2030* [versão PDF], Ministério da Defesa Nacional. Retirado de https://www.defesa.gov.pt/pt/comunicacao/documentos/Lists/PDEFINTER_DocumentoLookupList/Estrategia-Defesa-Nacional-Espaco_2020-2030.pdf.
- Despacho n.º 2388/2018 do Ministro da Defesa Nacional (MDN), de 6 de fevereiro (2018). *Memorando de entendimento no âmbito do Espaço com Espanha*. Diário da República n.º 48/2018, Série II, 7137-7137. Defesa Nacional - Gabinete do Ministro.
- Eisenhardt, K. M., & Graebner, M. E. (2007). Theory building from cases: Opportunities and challenges. *Academy of management journal*, 50(1), 25-32.

- Estado-Maior-General das Forças Armadas (EMGFA) (2024). Centro de Comunicações e Informação, Ciberespaço e Espaço [Página online]. Retirado de <https://www.emgfa.pt/pt/unidades/CCICE>.
- European Commission (2019). Pacto Ecológico Europeu [versão PDF]. *COM(2019) 640 final de 11 de novembro de 2019*. Retirado de https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0008.02/DOC_1&format=PDF.
- European Commission (2020). *EU Space Surveillance and Tracking – Service Portfolio* [versão PDF], The Space Surveillance and Tracking (SST) Support Framework. Retirado de <https://www.satcen.europa.eu/keydocuments/EU%20SST%20ServicePortfolio5f58ae198c7cd800013e8b6c.pdf>.
- European Space Agency (ESA) (2017a). *Geospatial data analytics for landscape intelligence* [Página online], publicação original de 22 de novembro de 2017 atualizada em 7 de março de 2023. Retirado de <https://business.esa.int/projects/showcases/reducing-risk-bird-strikes>.
- European Space Agency (ESA) (2017b). *Reducing the risk of bird strikes* [Página online], publicação original de 16 de agosto de 2017, atualizada em 14 de setembro de 2017. Retirado de <https://business.esa.int/projects/showcases/geospatial-data-analytics-for-landscape-intelligence>.
- European Space Agency (ESA) (2024a). Copernicus Browser [Página online]. Retirado de <https://dataspace.copernicus.eu/explore-data>.
- European Space Agency (ESA) (2024b). Sentinel-1 [Página online]. Retirado de <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1>.
- European Space Policy Institute (2017). “ESPI Briefs” 11, *Delimitation of Outer Space* [versão PDF], march 2017, Viena, Austria. Retirado de https://www.espi.or.at/wp-content/uploads/espdocs/ESPI%20Executive%20Briefs/ESPI_Brief_11_updated.pdf.
- European Union (EU) (2023). *European Union Space Surveillance and Tracking (EU SST)* [Página online]. *Facts and figures*. Retirado de https://www.eusst.eu/wp-content/uploads/2023/11/EUSST_Factsheet_2023.pdf.
- European Union Agency for the Space Program (EUSPA) (2024). *The EU Space Programme* [Página online]. Retirado de <https://www.euspa.europa.eu/european-space/eu-space-programme>.
- European Union SST (2024). *Space Surveillance & Tracking* [Página online]. Retirado de <https://www.eusst.eu/>.
- Factories in Space (2024a). *In-Space Manufacturing & Space Economy* [Página online]. Retirado de <https://www.factoriesinspace.com/>.
- Factories in Space (2024b). *Space Arks* [Página online]. Original em: 2018-12-07, Atualizado em: 2024-02-24, Retirado de <https://www.factoriesinspace.com/>.
- Força Aérea (2022). Roteiro para a Neutralidade Carbónica da Força Aérea 2050 (RCN2050PrtaF), Chefe do Estado-Maior da Força Aérea, Alfragide, Portugal.

- Força Aérea (2023). Conceito Espaço na Força Aérea. Chefe do Estado-Maior da Força Aérea, setembro de 2023, Alfragide, Portugal.
- Força Aérea (2024). Força Aérea integra projeto para o Espaço [Página online], Notícias. Retirado de <https://www.emfa.pt/noticia-4495-forca-aerea-integra-projeto-para-o-espaco>, , Alfragide, Portugal.
- Google (2024a). Área em Portugal vista em Google Earth Pro. cartografia por Landsat Copernicus, SIO NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), US Navy, NGA (National Geospatial-Intelligence Agency), GEBCO (The General Bathymetric Chart of the Oceans). Retirado de <https://www.google.pt/>.
- Google (2024b). *Google Earth Engine* [Página online]. Retirado de <https://earthengine.google.com/>.
- Greenblatt, J., & Anzaldúa, A. (2019). *How space technology benefits the Earth* [Página online]. The Space Review, 29 July 2019. Retirado de <https://www.thespacereview.com/article/3768/1>.
- Gregersen, E. (2024). "space debris". [Página online] Encyclopedia Britannica, 29 Apr. 2024, <https://www.britannica.com/technology/space-debris>.
- Grest, H. (2020). *New Space: Advantage of Threat for the Military* [versão PDF]. The Journal of the Joint Air Power Competence Centre (JAPCC), pp. 31-36. Retirado de https://www.japcc.org/wp-content/uploads/JAPCC_J29_screen.pdf.
- Grest, H. (2022). *National Military Space Operations Centres* [versão PDF], Joint Air Power Competence Centre, August 2022, Kalkar, Germany. Retirado de <https://www.japcc.org/wp-content/uploads/The-new-NATO-Space-Centre-of-Excellence.pdf>.
- Harrison, T. (2020). *International Perspectives on Space Weapons* [versão PDF]. Center for Strategic and International Studies. Retirado de https://aerospace.csis.org/wp-content/uploads/2020/05/Harrison_IntlPerspectivesSpaceWeapons-compressed.pdf.
- Jung, S., Jeong S., Kang J., & Kang J. (2023). *Marine IoT Systems with Space-Air-Sea Integrated Networks: Hybrid LEO and UAV Edge Computing* [versão PDF]. Retirado de <https://sa.catapult.org.uk/wp-content/uploads/2020/04/20042237-Infrastructure-Monitoring-from-Space.pdf>.
- Keeley, J. E. (2009). *Fire intensity, fire severity and burn severity: A brief review and suggested usage* [versão PDF]. International Journal of Wildland Fire, 18(1), 116–126. Retirado de https://webpages.uidaho.edu/firegis/secure/downloads/Keeley_2009_BSreview_IJWF.pdf.
- Kulu, E. (2021). *In-Space Economy in 2021 - Statistical Overview and Classification of Commercial Entities* [versão PDF], 72nd International Astronautical Congress (IAC 2021), Dubai, United Arab Emirates, 25-29 October 2021. Retirado de https://www.factoriesinspace.com/graphs/In-Space-Economy-2021_Erik-Kulu_IAC2021.pdf.
- Lal, B., Balakrishnan, A., Becaja M. Caldwell, B. M., Buenconsejo, R. S., & Carioscia, S. A. (2018). *Global Trends in Space Situational Awareness (SSA) and Space Traffic Management (STM)* [Página online]. Science & Technology Policy Institute, Elda.org, IDA Document

- D-9074, Abril 2018. Retirado de <https://ida.org/-/media/feature/publications/g/gj/global-trends-in-space-situational-awareness-ssa-and-space-traffic-management-stm/d-9074.ashx>.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA) (2010). *Work Breakdown Structure (WBS) Handbook* [Página online]. Retirado de <https://ntrs.nasa.gov/citations/20110012671>.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA) (2022). *NASA Selects Proposals to Enable Manufacturing in Space for Earth* [Página online], Article published in 15th April 2022, NASA Live. Retirado de <https://www.nasa.gov/missions/station/nasa-selects-proposals-to-enable-manufacturing-in-space-for-earth/>.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA) (2023). *Space Manufacturing Technology Report Submitted to The National Space Council* [versão PDF], Dezembro 20, 2023. Retirado de <https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2023/12/nspc-space-manufacturing-technology-report-rev-12.20.23-final.pdf>.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA) (2024a). *NASA Launches New Climate Mission to Study Ocean, Atmosphere* [Página online], Feb 08, 2024, Release 24-021. Retirado de <https://www.nasa.gov/news-release/nasa-launches-new-climate-mission-to-study-ocean-atmosphere/>.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA) (2024b). *Applied Remote Sensing Training Program (ARSET)* [Página online]. Retirado de <https://appliedsciences.nasa.gov/what-we-do/capacity-building/arset>.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA) (2024c). *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER)* [Página online], Jet Propulsion Laboratory. Retirado de <https://asterweb.jpl.nasa.gov/>.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA) (2024d). *Shuttle Radar Topography Mission* [Página online], NASA Earth Data. Retirado de <https://www.earthdata.nasa.gov/news/nasa-shuttle-radar-topography-mission-srtm-version-3-0-global-1-arc-second-data-released-over-asia-and-australia>.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA) (2024e). EarthData, Visible Infrared Imager-Radiometer Suite (VIIRS) [Página online]. Retirado de <https://www.earthdata.nasa.gov/learn/find-data/near-real-time/viirs>.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA) (2024f). *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)* [Página online]. Retirado de <https://modis.gsfc.nasa.gov/about/>.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA) (2024g). *Global Precipitation Measurement* [Página online]. Retirado de <https://gpm.nasa.gov/missions/GPM>.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA) Earth Data (2024h). GIOVANNI [Página online]. Retirado de <https://disc.gsfc.nasa.gov/information/tools?title=Giovanni>.
- Open Street Map Foundation (OSM) (2024). *Open data, licensed under the Open Data Commons Open Database License (ODbL) by the OpenStreetMap Foundation (OSMF)* [Página online]. Retirado de <https://www.openstreetmap.org/copyright>.

- Organização do Tratado Atlântico Norte (OTAN) (2016). AJP-3-3. *Allied Joint Doctrine for Air and Space Operations*, Edition B Version 1, April 2016, NATO Standardization Office, Brussels, Belgium.
- Organização do Tratado Atlântico Norte (OTAN) (2021). AAP-06 – *Glossary of Terms and Definitions*, Edition 2021, NATO Standardization Office, Brussels, Belgium.
- Organização do Tratado Atlântico Norte (OTAN) (2022). *NATO's overarching Space Policy* [Página online], 17 de janeiro de 2022. Retirado de https://www.nato.int/cps/en/natohq/official_texts_190862.htm.
- Organização do Tratado Atlântico Norte (OTAN) (2023). *NATO's approach to space*, 23 de maio de 2023 [Página online]. Retirado de https://www.nato.int/cps/en/natohq/topics_175419.htm.
- Ostovar, M. (2010). *Communications Satellites: Making the Global Village Possible* [Página online], Article, The National Aeronautics and Space Administration (NASA). Retirado de <https://www.nasa.gov/history/communications-satellites/>.
- Our World in Data (2024). Annual number of objects launched into space [Página online]. Retirado de <https://ourworldindata.org/grapher/yearly-number-of-objects-launched-into-outer-space>.
- Páscoa, C., & Morgado, J. (2023). Projeto “Vista aérea sobre os incêndios”. IUM Atualidade, 46. Lisboa: Instituto Universitário Militar.
- Páscoa, C., Pinto, H.S., Tribolet, J. (2011). Ontology Construction: Portuguese Air Force Headquarters Domain. In: Harmsen, F., Grahlmann, K., Proper, E. (eds) Practice-Driven Research on Enterprise Transformation. PRET 2011. Lecture Notes in Business Information Processing, vol 89. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-23388-3_4.
- Páscoa, C., Tribolet, J., & Correia, M. (2023). Cyberlearn: An Integrated Framework for Organizational Capability Building. In N. Mateus-Coelho & M. Cruz-Cunha (Eds.), Exploring Cyber Criminals and Data Privacy Measures (pp. 94-123). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-6684-8422-7.ch006>.
- Pinto, J., Páscoa, C. (2023). *Climate Change Mitigation and Adaptation in Military Organizations: The Case of the Portuguese Air Force*. In: Caetano, N.S., Felgueiras, M.C. (eds) The 9th International Conference on Energy and Environment Research. ICEER 2022. Environmental Science and Engineering. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-43559-1_35.
- Público (2024). Agora, sim. Trinta anos depois, Portugal volta a enviar um satélite para o espaço [Página online]. Retirado de <https://www.publico.pt/2024/03/04/ciencia/noticia/portugal-regressa-espaco-satelite-aeros-parte-breve-acompanhe-aqui-2082483>.
- QGIS Association (QGIS) (2024). *Quantum Geographical Information System* [Página online]. Retirado de <https://www.qgis.org/en/site/#>.
- Rainjonneau, S., Tokarev, I., Iudin, S., Rayaprolu, S., Pinto, K., Lemtiuzhnikova, D., ... & Melnikov, A. (2023). Quantum algorithms applied to satellite mission planning for

- Earth observation [versão PDF]. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. Retirado de <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=10155128>.
- Resolução do Conselho de Ministros (RCM) n.º 107/2019, de 01 de julho (2019b). *Aprova o Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050*. Diário da República n.º 123/2019, Série I, 3208-3299. Lisboa: Presidência do Conselho de Ministros. Retirado de <https://dre.pt/dre/detalhe/resolucao-conselho-ministros/107-2019-122777644>.
- Resolução do Conselho de Ministros (RCM) n.º 30/2018, de 12 de março (2018). *Aprova a Estratégia Nacional do Espaço 2030 (ENE2030)*. Diário da República n.º 50/2018, Série I de 2018-03-12, páginas 1255 - 1261. Lisboa: Presidência do Conselho de Ministros. Retirado de <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/resolucao-conselho-ministros/30-2018-114848692>.
- Resolução do Conselho de Ministros (RCM) n.º 53/2020, de 10 de julho (2020). *Aprova o Plano Nacional Energia e Clima 2030 (PNEC 2030)*. Diário da República n.º 133/2020, Série I de 2020-07-10, páginas 2 - 158. Lisboa: Presidência do Conselho de Ministros. Retirado de <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/resolucao-conselho-ministros/53-2020-137618093>.
- Resolução do Conselho de Ministros (RCM) n.º 55/2019, de 13 de março (2019a). *Determina a criação da Agência Espacial Portuguesa*. Diário da República n.º 51/2019, Série I, de 13 de março de 2019, 1576-1577. Lisboa: Presidência do Conselho de Ministros. Retirado de: <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/resolucao-conselho-ministros/55-2019-120837266>.
- Roberts, T. G. (2022). *Space-Based Missile Defense: How Much is Enough?* [Página online]. Aerospace.csis.org, 13 March 2019 atualizado em 4 de Agosto de 2022. Retirado de <https://aerospace.csis.org/data/space-based-missile-defense-interceptors/>.
- Saing, M. (2020). *NASA and Smallsat Cost Estimation Overview and Model Tools* [Página online]. Retirado de https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2020/05/saing_nasa_and_smallsat_cost_estimation_overview_and_model_tools_s3vi_webinar_series_10_jun_2020.pdf.
- Sentinelhub (2024). *NDWI Normalized Difference Water Index* [Página online]. Retirado de <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/sentinel-2/ndwi/>.
- Skinner, B. (2020). *Military Uses of Outer Space, Space Security Index (SSI) Issue Guide: Access To and Use of Space by Global Actors* [versão PDF], November 2020. Retirado de <https://spacesecurityindex.org/2020/11/military-uses-of-outer-space/>.
- Space Debris User Portal (2023). *Space Environmental Statistics* [Página online]. Retirado de <https://sdup.esoc.esa.int/discosweb/statistics/>
- United Nations (UN) (1966). *Treaty on Principles Governing the Activities of States in the Exploration and Use of Outer Space, including the Moon and Other Celestial Bodies - Outer Space Treaty* [Página online], Office for Outer Space Affairs. Retirado de <https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/spacelaw/treaties/introouterspacetreaty.html>.

- United Nations (UN) (2024). *Office for Outer Space Affairs UN-SPIDER Knowledge Portal* [Página online]. Retirado de <https://www.un-spider.org/>.
- United Nations (UN) (s.d.). *Benefits of Space: Disaster Management* [Página online]. Office for Outer Space Affairs. Retirado de <https://www.unoosa.org/oosa/en/benefits-of-space/disasters.html>.
- United Nations (UN) (s.d.). *Normalized Burn Ratio (NBR)* [Página online], Office for Outer Space Affairs, UN-SPIDER Knowledge Portal. Retirado de <https://www.un-spider.org/advisory-support/recommended-practices/recommended-practice-burn-severity/in-detail/normalized-burn-ratio>.
- United States Air Force (2021). *Air Force Doctrine Publication 3-14 – Counterspace Operations* [versão PDF], Curtis E. Lemay Center, Atualizado em 25 January 2021. Retirado de https://www.doctrine.af.mil/Portals/61/documents/AFDP_3-14/3-14-D05-SPACE-Counterspace-Ops.pdf.
- United States Space Force (USSF) (2020). *Space Capstone Publication, Spacepower (SCP)* [versão PDF], Headquarters United States Space Force, June 2020. Retirado de [https://media.defense.gov/2022/jan/19/2002924108/-1/-1/0/space%20capstone%20publication%20\(10%20aug%202020%20-%20as%20released%20by%20cso\).pdf](https://media.defense.gov/2022/jan/19/2002924108/-1/-1/0/space%20capstone%20publication%20(10%20aug%202020%20-%20as%20released%20by%20cso).pdf).
- United States Space Force (USSF) (2022). *Space Doctrine Publication 1-0, Personnel (SDP 1-0, Personnel)* [Página online]. 7 de setembro de 2022. Retirado de <https://www.starcom.spaceforce.mil/Portals/2/SDP%201-0%20Personnel%207%20September%202022.pdf?ver=erudfM8rwArAPlxplIu47g%3d%3d>.
- United States Space Force (USSF) (2024a). *Digital Library for Space – Doctrine* [Página online]. Space Training and Readiness Command. Retirado de <https://www.starcom.spaceforce.mil/Resources/Digital-Library/>.
- United States Space Force (USSF) (2024b). *Careers* [Página online]. Retirado de <https://www.spaceforce.com/career-finder>.
- Utilities One (2023). *Satellite-based Positioning and the Gaming Industry* [Página online]. Retirado de <https://utilitiesone.com/satellite-based-positioning-and-the-gaming-industry>.
- Wald, B. (2014). *The Private Space Industry 2050–2100* [Página online]. Wikistrat, May 2014. Retirado de <https://portfolium.com/entry/the-private-space-industry-2050-2100>.
- Wang, B., Li, S., Mu, J., Hao, X., Zhu, W., Hu. (2022). *Research Advancements in Key Technologies for Space-Based Situational Awareness*. *Space Sci Technol*. 2022; v2022: DOI:10.34133/2022/9802793.
- Woolf, A. (2021). *Conventional Prompt Global Strike and Long-Range Ballistic Missiles: Background and Issues* [versão PDF]. Congressional Research Service, atualizado em 16 de julho de 2021. Retirado de <https://sgp.fas.org/crs/nuke/R41464.pdf>.
- World Economic Forum (2024). *Global Risks Report 2024* [versão PDF], 10 Janeiro 2024. Retirado de https://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Global_Risks_Report_2024.pdf.
- Yin, R., K. (2018). *Case Study Research and Applications, Design and Methods (Vol. 6)*, Thousand Oaks, CA; SAGE Publications, Inc.